

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA DE LA TIERRA,
ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA II**



TESIS DOCTORAL

**Relación de luminosidad de las supernovas de tipo
la con las abundancias elementales de sus galaxias
anfitrionas**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Manuel Emilio Moreno Raya

DIRECTORES

**Mercedes Mollá Lorente
Ángel Rafael López-Sánchez**

Madrid, 2017



Departamento de Investigación Básica

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas

•

Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II

Facultad de Ciencias Físicas

Universidad Complutense de Madrid



U N I V E R S I D A D
COMPLUTENSE
M A D R I D

Relación de la luminosidad de las supernovas de tipo Ia con las abundancias elementales de sus galaxias anfitrionas

Tesis presentada por

Manuel Emilio Moreno Raya

para optar al grado de Doctor
y dirigida por los doctores

Mercedes Mollá Lorente (CIEMAT)

y

Ángel Rafael López-Sánchez (AAO/MQU)

Junio 2016

Documento maquetado con T_EX!S v.1.0.

Este documento está preparado para ser imprimido a doble cara.

Departamento de Investigación Básica
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
•
Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica II
Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid

Relación de la luminosidad de las supernovas de tipo Ia con las abundancias elementales de sus galaxias anfitrionas

Memoria que presenta para optar al grado de Doctor en Astrofísica

Manuel Emilio Moreno Raya

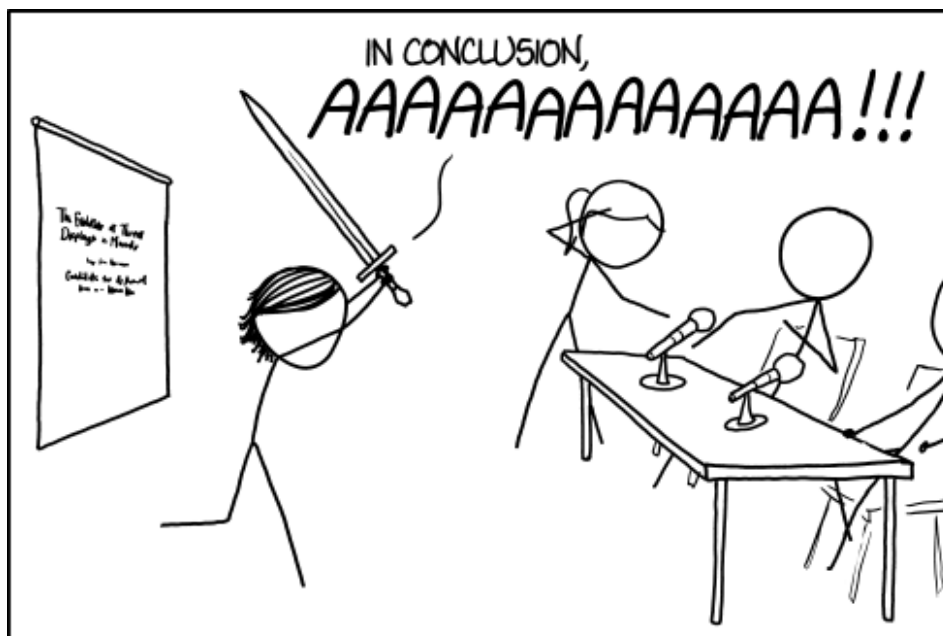
Dirigida por los Doctores

Mercedes Mollá Lorente y Ángel R. López-Sánchez

Junio 2016

Copyright © Manuel Emilio Moreno Raya

A mi familia.



THE BEST THESIS DEFENSE IS A GOOD THESIS OFFENSE.

<https://xkcd.com/1403/>

Resumen

La metalicidad del sistema progenitor de una supernova de tipo Ia (SN Ia) podría jugar un papel significativo a la hora de determinar su máxima luminosidad, tal y como ha sido sugerido por predicciones teóricas. En esta tesis se presenta un estudio observacional para investigar la existencia de tal relación. El trabajo está dividido en dos partes diferenciadas, según el rango del corrimiento al rojo (*redshift*) de los objetos: galaxias locales ($z < 0.02$); y galaxias con redshift intermedio ($z \leq 0.45$).

Primero se han llevado a cabo observaciones espectroscópicas en el telescopio 4.2m William Herschel (WHT) en la isla de La Palma. Se han obtenido datos para 28 galaxias locales ($z < 0.02$) para las cuales hay en la literatura medidas de distancia obtenidas con métodos independientes (Tully-Fisher, Cefeidas...) a los métodos basados en SN Ia. Se han medido las líneas de emisión del gas ionizado en los espectros ópticos de estas galaxias y, mediante el uso de calibraciones empíricas, se han calculado las abundancias de oxígeno en los entornos locales en los que las SNe Ia explotaron. Para ello se calcularon los gradientes de abundancia de oxígeno en las galaxias. Se ha estudiado la relación entre la magnitud absoluta de las SN Ia normales (no enrojecidas) con la abundancia de oxígeno. Los datos muestran la tendencia de que, con el 80 % de probabilidad de no deberse a una fluctuación aleatoria, las luminosidades de las SN Ia tienden a ser más brillantes en entornos poco metálicos, mientras que las galaxias más ricas en metales albergan SNe Ia más débiles. Esta diferencia es de 0.14 ± 0.10 dex entre los regímenes de baja y alta metalicidad. Los resultados concuerdan con las predicciones teóricas y con otros resultados observacionales. Y se hace extensivo a las SNe Ia enrojecidas. Mediante un análisis de componentes principales (PCA) se estudian las correlaciones de la magnitud absoluta de las SNe Ia con las anchuras de sus curvas luz, sus colores, y las metalicidades de sus entornos, y se concluye que se puede reducir en un 4.8 % la dispersión en la magnitud absoluta de las SNe Ia si se tiene en cuenta la metalicidad.

Segundo, se ha realizado un estudio sistemático de la relación entre las propiedades de las SNe Ia y las características de sus galaxias anfitrionas, en una muestra de 455 SNe Ia extraídas del Sloan Digital Sky Survey II (SDSS-II) hasta $z < 0.45$. Se han obtenido las abundancias de oxígeno de

las galaxias mediante el uso de calibradores empíricos y los parámetros de las SNe Ia mediante el ajuste de sus curvas de luz con el código SiFTO. También se ha hecho uso del código STARLIGHT para encontrar las masas estelares medias de las galaxias anfitrionas. Encontramos una correlación de los residuos del Diagrama de Hubble de SN Ia con la abundancia en metales (y también con la masa estelar) de dichas galaxias anfitrionas con un valor similar al encontrado por otros autores. Estas tendencias puede explicarse a partir de una sobre-estimación de la luminosidad de las SNe Ia localizadas en entornos ricos en metales cuando se usa el método estándar en cosmología, que tiene en cuenta el color y la anchura de la curva de luz de las SN Ia pero no la abundancia en metales.

Se han observado también 6 galaxias distantes ($0.4 < z < 0.5$) con el 10.4m Gran Telescopio Canarias (GTC) en La Palma. Se han determinado las metalicidades estelares para todas ellas, y la abundancia de oxígeno para una de ellas.

Por último, se han determinado los parámetros cosmológicos con las SNe Ia de WHT, SDSS y GTC con el procedimiento tradicional y con la inclusión de la metalicidad como parámetro adicional para nuestra muestra completa de galaxias. No hemos encontrado diferencias significativas en los parámetros cosmológicos, lo que achacamos a la falta de objetos a alto redshift ($0.45 < z < 1.4$) en nuestra muestra. Dichos parámetros son muy sensibles en este rango de corrimiento al rojo, donde se han observado SNe Ia pero donde aún no se han determinado abundancias de oxígeno del gas ni tampoco metalicidades estelares. Ello implica que necesitaremos realizar observaciones, ya en el infrarrojo, de las galaxias de este rango, para poder determinar abundancias químicas y/o metalicidades y así finalizar el estudio con el mayor rango posible en redshift.

Por otra parte este último resultado no concuerda con lo obtenido recientemente por Campbell et al. (2016), que también usó una muestra de SDSS, sí muestra una diferencia en dichos parámetros (menor Ω_M cuando se tiene en cuenta la metalicidad) y menor dispersión, de la misma manera que la encontrada en nuestro trabajo. Esto refuerza la necesidad de incluir un trazador de metalicidad, como la abundancia de oxígeno de la galaxia anfitriona, para minimizar el efecto sistemático inducido por la dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad en futuros estudios de SNe Ia a distancias cosmológicas.

Se presenta además, como caso particular a las observaciones en el WHT, el análisis espectral de la SN2014J. Se la posiciona en varios diagramas de diagnóstico, que están basados en propiedades de los iones del Si II, y proporcionan información dinámica y química acerca de la supernova. La SN2014J está a caballo entre los grupos *Core-normal* y *Broad-line*, clasificación que se corresponde a una posición intermedia entre los gradientes de baja y alta velocidad.

Abstract

The metallicity of the progenitor system producing a type Ia supernova (SN Ia) could play a role in its maximum luminosity, as suggested by theoretical predictions. This thesis compiles an observational analysis to study the existence of such a relationship. This work is made up of two well distinguished parts separated by the redshift: local galaxies ($z < 0.02$); and galaxies at intermediate redshifts ($z \leq 0.45$).

First, I have carried out astronomical observations using the 4.2m William Herschel Telescope (WHT) located at La Palma, where we have obtained intermediate-resolution spectroscopy data of a sample of 28 local galaxies hosting SNe Ia, for which distances have been derived using methods independent of those based on SN Ia parameters (e.g. Tully-Fisher, Cepheids). From the emission lines observed in their optical spectra, we derived the gas-phase oxygen abundance in the region where each SN Ia exploded. Our data show a trend, with an 80% of chance not being due to random fluctuation, between not reddened SNe Ia absolute magnitudes and the oxygen abundances of the host galaxies, in the sense that luminosities tend to be higher for galaxies with lower metallicities. This difference is 0.14 ± 0.10 dex between both high and low metallicity regimes. This result seems likely to be in agreement with both the theoretically expected behavior and with other observational results. This result is extensive to reddened SNe Ia. I have performed a Principal Component Analysis (PCA) to establish the correlations between SNe Ia absolute magnitude with its light curve width and color, and with the environmental oxygen abundance. I conclude that it is possible to reduce up to 4.8% the scatter for the SNe Ia absolute magnitude if the metallicity is taken into account.

After that I have performed a systematic analysis between the SNe Ia properties and the characteristics of their host galaxies for a sample of 455 SNe Ia extracted from Sloan Digital Sky Survey II (SDSS-II) up to $z < 0.45$. I have obtained the oxygen abundances for the galaxies by using empirical calibrations and the SNe Ia parameters by fitting their light curves with the code SiFTO. I have use as well the code STARLIGHT to derive the host galaxies stellar masses. I find a correlation between the SN Ia Hubble Residuals and the oxygen abundance (also with the stellar mass) of these

host galaxies with a similar value from other authors. These trends may be explained due to a overestimation of the SN Ia luminosity located in metal-rich environments when the cosmological standard method is used, which accounts for SNe Ia color and stretch and neglects metallicity.

I have also observed 6 distant galaxies ($0.4 < z < 0.5$) with the 10.4m Gran Telescopio Canarias (GTC) at La Palma. I have derived the stellar metallicities for all of them and the oxygen abundance for the one with emission lines.

Finally, I have determined the cosmological parameters considering all SNe Ia from WHT, SDSS, and GTC with the traditional method and considering the metallicity as extra parameter. I have not found substantial differences for the cosmological parameters, something that may be affected by the lack of high-redshift objects ($0.45 < z < 1.4$) in our sample. Such parameters are extremely sensitive in this redshift range, where SNe Ia have been observed, but neither oxygen abundances nor metallicities have been yet determined. This implies the necessity of IR observations which lead to finish the analysis considering a wider range of redshifts.

On the other hand this result does not agree with the conclusions obtained recently by Campbell et al. (2016), who analysed a SDSS sample, and find a difference in the parameters (lower Ω_M when considering metallicity) and less scatter. That strengthens the necessity of including a metallicity proxy (oxygen abundance) to minimize the systematic effect inferred by the SN Ia luminosity dependence on the metallicity in cosmological analysis in the future.

As a particular case to the observations at WHT, I present the spectral analysis for the SN2014J. I position SN 2014J in the Benetti et al. (2005), Branch et al. (2006) and Wang et al. (2009) diagrams. These diagrams are based on properties of the Si II features and provide dynamical and chemical information about the SN ejecta. SN 2014J is a border-line object between the Core-normal (CN) and Broad-line (BL) groups, which corresponds to an intermediate position between Low Velocity Gradient (LVG) and High Velocity Gradient (HVG) objects.

Índice

Resumen	IX
Abstract	XI
1. Introducción	1
1.1. Cosmología de supernovas	1
1.2. Objetivo de la tesis	8
1.3. Estructura de la tesis	9
2. Supernovas	11
2.1. Clasificación y física de supernovas	12
2.1.1. Supernovas de Tipo I	14
2.1.2. Supernovas de Tipo II	15
2.2. Espectros de SNe Ia	17
2.3. Curvas de luz de SNe Ia	18
2.3.1. Parametrización de Curvas de Luz y modelos	19
3. Abundancias elementales	21
3.1. Líneas de emisión permitidas y prohibidas	22
3.2. Estructura de nubes de gas y temperaturas	24
3.3. Parámetro de ionización	25
3.4. Cálculo práctico de T_e	27
3.5. Determinación práctica de n_e	28
3.6. Determinación de abundancias elementales	29
3.6.1. Método directo	30
3.6.2. Calibraciones empíricas	30
4. Espectroscopía en el WHT	37
4.1. William Herschel Telescope	37
4.1.1. Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System (ISIS)	40
4.2. Observaciones en el WHT	41

4.2.1.	Definición de la muestra	41
4.2.2.	Configuración instrumental	45
4.3.	Reducción y calibrado de espectros	47
4.3.1.	Debiasing	51
4.3.2.	Corrección por campo plano. Flat-fielding	52
4.3.3.	Eliminación de rayos cósmicos	53
4.3.4.	Calibración en longitud de onda	53
4.3.5.	Extracción de espectro unidimensional	53
4.3.6.	Calibración en flujo	56
4.3.7.	Corrección de velocidad radial	57
5.	Galaxias Locales	59
5.1.	Medidas de las líneas	59
5.2.	Naturaleza de la emisión	60
5.3.	Corrección por enrojecimiento	63
5.4.	Cálculo de abundancias de oxígeno	64
5.5.	Gradientes de abundancia de oxígeno	66
5.5.1.	Comparación con otros resultados	84
5.6.	Parámetros de las curvas de luz de las SNe Ia	85
5.7.	Determinación de la magnitud absoluta, M_B , de las supernovas	88
5.8.	$M_B - Z$	88
5.9.	Efecto del color en la relación $M_B - Z$	91
5.10.	Matriz de covarianza: $M_B - C - \text{OH} - s$	93
5.11.	M_B vs. color	95
5.12.	Relación entre la metalicidad y el color	96
5.13.	$M_B - \beta C$ vs. abundancia de oxígeno	96
5.14.	$M_B - \beta C - \gamma(\text{OH}_{\text{pure}} - 8.4)$ vs. stretch	97
5.15.	Implicaciones de la relación $M_B - Z$	101
6.	Caso particular: estudio de la SN2014J	105
6.1.	Introducción	105
6.2.	Observaciones	108
6.2.1.	Observaciones en el 2.5m INT	108
6.2.2.	Observaciones en el 4.2m WHT	109
6.2.3.	Reducción	109
6.3.	Caracterización espectral	110
6.3.1.	Medidas de los parámetros espectrales	112
6.3.2.	Diagramas de diagnóstico	114
6.4.	Resultados y discusión	117
6.4.1.	SN2014J en los diagramas Be05, Br06 y Wa09	117
6.4.2.	Evolución de la velocidad y anchura equivalente	120

6.4.3. Propiedades espectrales vs. $\Delta m_{15}(B)$	122
6.5. Conclusiones	123
7. Galaxias de SDSS	127
7.1. Selección de la muestra	127
7.1.1. SDSS-II Supernova Survey	127
7.1.2. La compilación Union2.1	129
7.1.3. Muestra espectroscópica de galaxias anfitrionas	129
7.2. Medidas de las líneas y naturaleza de la emisión	129
7.3. Corrección por enrojecimiento de la galaxia anfitriona	132
7.4. Abundancias de oxígeno	132
7.5. Masa de la galaxia anfitriona	135
7.6. Parámetros de las curvas de luz de las SNe Ia y HD	141
7.7. Correlaciones entre las SNe Ia y las galaxias anfitrionas	143
7.7.1. Metalicidad	143
7.7.2. Masa	146
8. Espectroscopía en el GTC	149
8.1. Gran Telescopio Canarias	149
8.1.1. Optical System for Imaging and low-Intermediate Resolution Integrated Spectroscopy (OSIRIS)	150
8.2. Observaciones en el GTC	151
8.3. Definición de la muestra	152
8.3.1. Configuración instrumental	152
8.4. Propiedades de las galaxias anfitrionas	155
8.4.1. Descripción de STARLIGHT	155
8.4.2. Abundancia de oxígeno	155
9. Análisis Cosmológico	163
9.1. Residuos en el diagrama de Hubble	163
9.2. Parámetros cosmológicos	165
9.2.1. El paso siguiente	167
10. Conclusiones	169
10.1. Trabajo futuro	171
11. Conclusions	173
11.1. Future work	175
A. Espectros WHT	177
B. Líneas de emisión con WHT	193

C. Líneas de emisión, abundancias y parámetros SDSS	197
Bibliografía	227

Índice de figuras

1.1. Diagrama de Hubble	2
1.2. Relación de Phillips	3
1.3. Masa de ^{56}Ni eyectada versus metalicidad	7
2.1. Remanentes de supernovas históricas	13
2.2. Esquema de la clasificación de las SN dependiendo de las líneas de absorción en los espectros de máxima luminosidad y de las características de las LCs.	14
2.3. Espectros de la supernova 2014J en cuatro épocas distintas	16
2.4. Curvas de luz	18
2.5. Estandarización de SNe Ia	19
3.1. Esquemas de las estructuras de ionización en las regiones H II	25
3.2. Diagramas de diagnóstico BPT	26
3.3. Diagramas de diagnóstico BPT	32
4.1. Alrededores del WHT en El Roque de los Muchachos.	38
4.2. Esquema del WHT.	39
4.3. Detalles de los brazos azul y rojo del espectrógrafo ISIS montado en el 4.2m WHT.	40
4.4. Respuesta de las CCDs y región de viñeteo para los brazos azul y rojo de ISIS.	41
4.5. Comparación de distancias de Tully-Fisher y Cefeidas	43
4.6. Esquema de la galaxia NGC 3370 con la supernova SN1994ae	49
4.7. Espectro de la región B de NGC 3370	49
4.8. Espectro típico obtenido tras la observación (bruto)	50
4.9. Bias obtenido en el WHT	51
4.10. Flat obtenido en el WHT	52
4.11. Espectro de lámpara de calibración	54
4.12. Regiones de emisión de NGC 3370, y su distribución de intensidades.	55
4.13. Espectro y distribución de energía de H600	56

4.14. Espectro típico obtenido tras todo el proceso de reducción y calibrado	57
5.1. Diagramas de diagnóstico para la muestra de galaxias locales	61
5.2. Distribución del parámetro $N2$ y el cociente $\log([S II]/H\alpha)$ para la muestra de galaxias locales	62
5.3. Abundancias de oxígeno estimadas con el parámetro $N2$ com- paradas con las obtenidas con $O3N2$	66
5.4. Galaxia M 82 y su gradiente de abundancias	68
5.5. Galaxia MCG-02-16-02 y su gradiente de abundancias	68
5.6. Galaxia NGC 0105 y su gradiente de abundancias	69
5.7. Galaxia NGC 1275 y su gradiente de abundancias	69
5.8. Galaxia NGC 1309 y su gradiente de abundancias	70
5.9. Galaxia NGC 2935 y su gradiente de abundancias	70
5.10. Galaxia NGC 3021 y su gradiente de abundancias	71
5.11. Galaxia NGC 3147 y su gradiente de abundancias	71
5.12. Galaxia NGC 3169 y su gradiente de abundancias	72
5.13. Galaxia NGC 3368 y su gradiente de abundancias	72
5.14. Galaxia NGC 3370 y su gradiente de abundancias	73
5.15. Galaxia NGC 3672 y su gradiente de abundancias	73
5.16. Galaxia NGC 3982 y su gradiente de abundancias	74
5.17. Galaxia NGC 4321 y su gradiente de abundancias	75
5.18. Galaxia NGC 4501 y su gradiente de abundancias	75
5.19. Galaxia NGC 4527 y su gradiente de abundancias	76
5.20. Galaxia NGC 4536 y su gradiente de abundancias	76
5.21. Galaxia NGC 4639 y su gradiente de abundancias	77
5.22. Galaxia NGC 5005 y su gradiente de abundancias	77
5.23. Galaxia NGC 5468 y su gradiente de abundancias	78
5.24. Galaxia NGC 5584 y su gradiente de abundancias	78
5.25. Galaxia UGC 00272 y su gradiente de abundancias	79
5.26. Galaxia UGC 03218 y su gradiente de abundancias	79
5.27. Galaxia UGC 03576 y su gradiente de abundancias	80
5.28. Galaxia UGC 03845 y su gradiente de abundancias	80
5.29. Galaxia UGC 04195 y su gradiente de abundancias	81
5.30. Galaxia UGC 09391 y su gradiente de abundancias	81
5.31. Galaxia UGCA 017 y su gradiente de abundancias	82
5.32. Abundancias de oxígeno de la región más cercana comparadas con las obtenidas con el gradiente radial de abundancia de oxígeno	84

5.33. Gradientes de abundancia para NGC 4321 (a) y NGC 4501 (b) comparados con Pilyugin et al. (2002). Los símbolos son los mismos que en la Fig. 5.20, excepto por los círculos verdes, que representan los valores de Pilyugin et al. (2002) y la línea discontinua verde, que representa el gradiente que estos autores encuentran; y los círculos rojos, que representan las abundancias obtenidas con la calibración de MAR13 utilizando las líneas empleadas en Pilyugin et al. (2002), y la línea punteada roja, que es el ajuste a dichos datos.	86
5.34. Magnitud absoluta de las SNe Ia, M_B , en función de las abundancias de oxígeno, OH_{O3N2}	89
5.35. Magnitud absoluta de las SNe Ia, M_B , en función de las abundancias de oxígeno, OH_{O3N2} para SNe Ia normales	90
5.36. Residuos de M_B en función del color de las SNe Ia	92
5.37. Distribución del stretch para las galaxias locales	94
5.38. M_B en función de C	95
5.39. Abundancia de oxígeno en función del color de las SNe Ia. Los símbolos son los mismos que en la Figura 5.38.	97
5.40. $M_B - \beta C$ en función de OH_{O3N2}	98
5.41. $M_B - \beta C - \gamma(\text{OH} - 8.4)$ en función del stretch	99
5.42. Distribución de M_B	100
5.43. M_B calculadas con y sin métodos de SN Ia y residuos en función de OH	103
5.44. Distancias con y sin métodos de SN Ia	104
6.1. SN2014J en la galaxia starburst M 82	107
6.2. Espectros reducidos correspondientes a tres épocas de la SN2014J obtenidos por IDS, ISIS y ACAM	110
6.3. Evolución espectral de la SN2014J	111
6.4. Descripción de los parámetros medidos de los espectros.	112
6.5. Diagramas de diagnóstico Be05 y Br06	115
6.6. Diagrama de Wa09	116
6.7. Relación de Phillips: SN2014J y SN2011fe	118
6.8. Evolución de las velocidades en los espectros de la SN2014J	121
6.9. Evolución de las anchuras pseudo-equivalentes de la SN2014J	123
6.10. $R(\text{Si II})$ y $v(\text{Si II } \lambda 6355)$ en función de Δm_{15}	124
7.1. Muestra de 12 galaxias de SDSS DR12	128
7.2. Cuatro espectros de SDSS	130
7.3. Histograma de las distribuciones en redshift de las galaxias de SDSS y Union2.1	131
7.4. Diagramas de diagnóstico para las galaxias SDSS y Union2.1	133

7.5. $c(H\beta)$ en función de la abundancia de oxígeno	133
7.6. Comparación de abundancias	136
7.7. Abundancias de Pilyugin comparadas con las adoptadas . . .	137
7.8. Histograma de las abundancias obtenidas	138
7.9. Diferencias entre abundancias adoptadas y directas	139
7.10. Propiedades de las muestras de SNe de SDSS y Union2.1 . . .	140
7.11. Distribución de las metalicidades de las galaxias de SDSS con el redshift y relación masa-metalicidad	141
7.12. Distribuciones en redshift, masa y metalicidad para la muestra de galaxias de SDSS y Union2.1	142
7.13. Diagrama y residuos de Hubble para las SNe Ia de SDSS y Union2.1	144
7.14. Correlaciones entre propiedades de las SNe Ia con la metali- cidad y la masa de las galaxias anfitrionas	145
7.15. Pendientes de la correlación entre HR y masa y metalicidad .	146
8.1. Curvas de eficiencia de los grismas R1000B (azul discontinuo) y R1000R (rojo continuo). Éste último fue el utilizado para la reali- zación de las observaciones de la muestra de galaxias con GTC. . .	151
8.2. Imágenes de las galaxias anfitrionas de la muestra de SNe Ia obser- vadas con GTC.	153
8.3. Espectro obtenido con GTC de la galaxia anfitriona de la SN2001iv. En este caso, el espectro se corresponde con la galaxia en su tota- lidad, la señal a ruido es menor que en la Figura 4.7, al tratarse de un objeto débil.	154
8.4. Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1995ar. . . .	157
8.5. Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1995as. . . .	158
8.6. Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1995az. . . .	159
8.7. Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1999ff. . . .	160
8.8. Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn2001iv. . . .	161
8.9. Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn2005hw. . . .	162
9.1. HR para el método tradicional y con OH	166
A.1. Espectros de M 82.	178
A.2. Espectros de MCG-02-16-02.	178
A.3. Espectros de NGC 0105.	179
A.4. Espectros de NGC 1275.	179
A.5. Espectros de NGC 1309.	180
A.6. Espectros de NGC 2935.	180
A.7. Espectros de NGC 3021.	181
A.8. Espectros de NGC 3147.	181

A.9. Espectros de NGC 3169.	182
A.10. Espectros de NGC 3368.	182
A.11. Espectros de NGC 3370.	183
A.12. Espectros de NGC 3672.	183
A.13. Espectros de NGC 3982.	184
A.14. Espectros de NGC 4321.	184
A.15. Espectros de NGC 4501.	185
A.16. Espectros de NGC 4527.	185
A.17. Espectros de NGC 4536.	186
A.18. Espectros de NGC 4639.	186
A.19. Espectros de NGC 5005.	187
A.20. Espectros de NGC 5468.	187
A.21. Espectros de NGC 5584.	188
A.22. Espectros de UGC 00272.	188
A.23. Espectros de UGC 03218.	189
A.24. Espectros de UGC 03576.	189
A.25. Espectros de UGC 03845.	190
A.26. Espectros de UGC 04195.	190
A.27. Espectros de UGC 09391.	191
A.28. Espectros de UGCA 017.	191

Índice de Tablas

2.1. Supernovas históricas.	11
4.1. Instrumentación utilizada para la observación de las galaxias de esta tesis en el WHT, usando ISIS.	41
4.2. Galaxias observadas en el WHT	44
4.3. Distancias de las galaxias locales	46
4.4. Longitudes de onda centrales para las observaciones en el WHT.	47
4.5. Detalle de las observaciones con el WHT	48
5.1. Valores de la función de extinción para las principales líneas de emisión	64
5.2. Abundancias determinadas para las regiones en las que se detectaron las SNe Ia. † refleja valores procedentes de gradientes obtenidos en Galbany et al. (2016).	83
5.3. Parámetros de las SNe Ia.	87
6.1. Especificaciones instrumentales para las observaciones de la SN2014J	108
6.2. Velocidades medidas para iones de la SN2014J	113
6.3. Anchuras equivalentes medidas para iones de la SN2014J	113
6.4. Evolución de $R(\text{Si II})$ para las SNe 2011fe y 2014J	119
7.1. Resumen de los ajustes de las correlaciones entre las propiedades de las SNe Ia y las características de las galaxias anfitrionas.	147
8.1. Instrumentación utilizada para la observación de las galaxias con el GTC.	151
8.2. SNe Ia en las galaxias anfitrionas objeto de las observaciones con GTC	154
8.3. Edades y metalicidades estelares de las galaxias observadas con GTC.	155
8.4. Metalicidades estelares y abundancias de oxígeno para las galaxias de GTC	156

9.1. Parámetros cosmológicos	167
B.1. Coeficientes de enrojecimiento e intensidades de líneas	194
C.1. Intensidades de las líneas	198
C.2. Propiedades derivadas del cálculo de las abundancias de oxígeno	209
C.3. Líneas adicionales para determinación de abundancias directas	219
C.4. Abundancias directas	220
C.5. Parámetros de la LC de las SNe Ia	221

Capítulo 1

Introducción

1.1. Cosmología de supernovas

La Cosmología de Supernovas trata de obtener información del modelo cosmológico válido para nuestro Universo. Se basa en el conocido diagrama de Hubble (Figura 1.1), en el que se representan las distancias a SNe Ia en función de sus redshifts. Los redshifts (z) se determinan con gran precisión a través de las líneas espectrales, mientras que las distancias vienen dadas por el módulo de distancia, $\mu = m - M$, donde m y M son las magnitudes aparente y absoluta de cada SN Ia.

Phillips (1993); Hamuy et al. (1996a,b); Phillips et al. (1999) encontraron una correlación entre las propiedades de la curva de luz (LC, del inglés *Light Curve*) de las SNe Ia y su magnitud absoluta en los filtros B , V , e I , hecho que puede verse la Figura 1.2. De este modo se puede estimar la distancia a estos objetos a partir del módulo de distancia, μ , mediante el mero estudio de la LC de las SNe Ia. Esta calibración permitió a los proyectos de cosmología de SNe Ia descubrir que el Universo se expande de manera acelerada (Perlmutter et al., 1999; Riess et al., 1998), obteniendo un valor de $\Omega_M = 0.295 \pm 0.034$ (Betoule et al., 2014). Combinando estos resultados con datos independientes, tales como los obtenidos estudiando el Fondo Cósmico de Microondas (CMB), y utilizando datos del satélite Planck y medidas de Oscilaciones Acústicas de Bariones, BAO, (Delubac et al., 2015), se obtiene $\Omega_M = 0.310 \pm 0.008$, que, asumiendo un Universo plano, implica que la densidad de energía en el Universo es $\Omega_\Lambda = 0.69$.

Una fuente plausible de inhomogeneidad es la dependencia de las propiedades de las SNe Ia con algunas características de sus galaxias anfitrionas. Es sabido que las propiedades generales de las galaxias cambian con el redshift, por lo que cualquier dependencia no incluida en las técnicas de estandarización podría tener un cierto impacto en la determinación de parámetros cosmológicos. De hecho, hasta la fecha ha habido multitud de estudios dedicados a buscar la dependencia de propiedades de las SNe Ia con las carac-

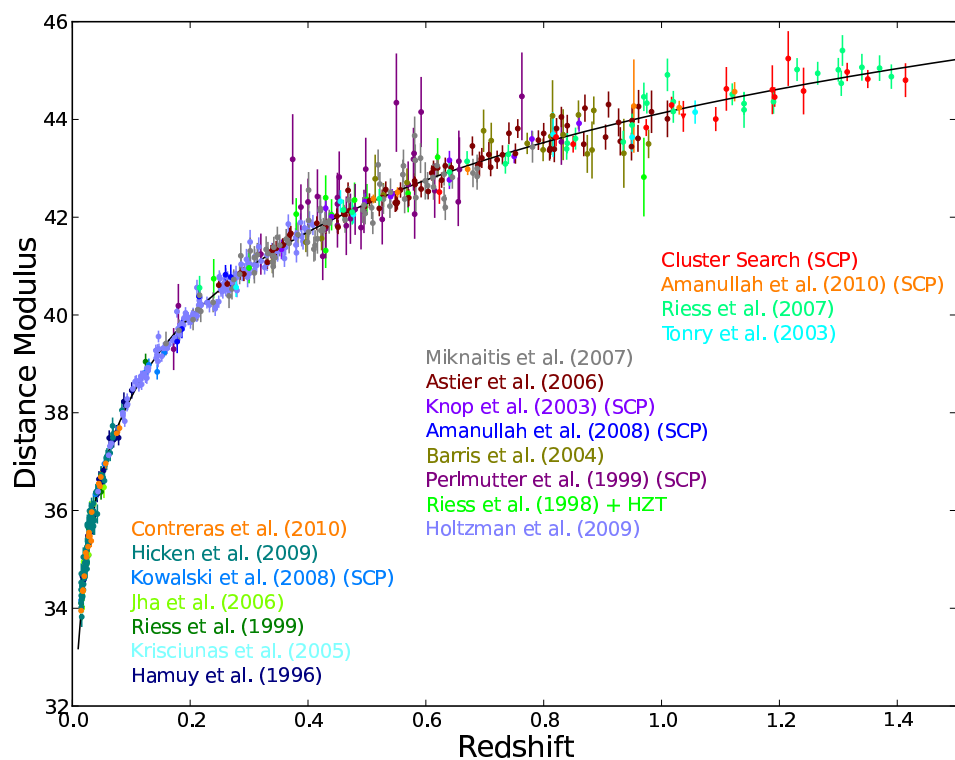


Figura 1.1 Diagrama de Hubble extraído de *Supernova Cosmology Project*. En el eje de abscisas se representa el *redshift*, y en el de ordenadas el módulo de distancia. En el diagrama se muestran datos de diversos cartografiados, independientes entre ellos.

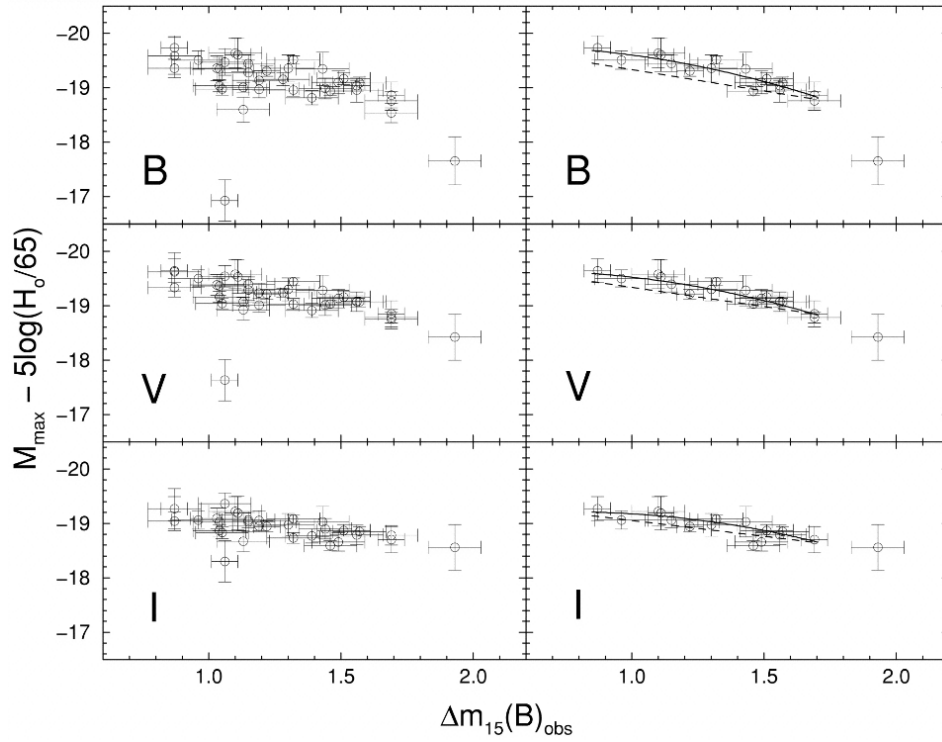


Figura 1.2 Izquierda: Magnitud absoluta en los filtros *BVI* corregida únicamente de extinción Galáctica (contribución de la Vía Láctea), en función del parámetro $\Delta m_{15,B}$ para la muestra completa de las 41 SNe Ia con $z \leq 0.01$ de Calán/Tololo y CfA (Hamuy et al., 1996a). Derecha: Mismo diagrama después de la eliminación de 23 SNe Ia para las cuales había una extinción significativa por parte de la galaxia anfitriona. Figura extraída de Phillips et al. (1999), cuyo ajuste se representa con la línea sólida, mientras que la línea rayada corresponde al ajuste dado en Hamuy et al. (1996a).

terísticas de sus galaxias anfitrionas. Así en estudios como los de Gallagher et al. (2008); Howell et al. (2009); Hicken et al. (2009); Kelly et al. (2010); Sullivan et al. (2010); Lampeitl et al. (2010); D’Andrea et al. (2011); Li et al. (2011); Gupta et al. (2011); Galbany et al. (2012); Johansson et al. (2013); Childress et al. (2013), y Pan et al. (2014), se ha visto que hay correlaciones entre el máximo brillo de las SNe Ia y ciertas propiedades de las galaxias anfitrionas. Entre ellas, la que más se ha estudiado recientemente ha sido la correlación entre la masa estelar de la galaxia con el brillo de la SN Ia (corregido por color y *stretch*). Kelly et al. (2010) ya demostraron que las galaxias más masivas tienden a albergar SNe Ia que son un $\sim 10\%$ más brillantes *tras las correcciones de la LC*, con una confianza del 2.5σ . Sullivan et al. (2010) separaron su muestra de SNe Ia en dos grupos: aquellas en las que sus galaxias anfitrionas eran poco masivas y aquellas en las que eran muy masivas. Usando dos valores diferentes de M (la magnitud absoluta en el máximo en el cálculo del módulo de distancia) para estas muestras se mejora la precisión de los parámetros cosmológicos ajustados con $3.8 - 4.5\sigma$. Encontraron que el valor absoluto muestra una diferencia de 0.08 mag entre los dos grupos cuando estos se separan a $M_{gal} = 10^9 M_{\odot}$.

Otros autores han encontrado que la correlación entre la masa de la galaxia anfitriona y los HR son menos significativos que los dados por Sullivan et al. (2011). Kim et al. (2014) ajustan LCs de SNe Ia modelándolas como funciones estocásticas descritas por procesos gaussianos, en lugar de ajustarlas a un espectro patrón. Utilizando esta técnica para ajustar SNe Ia no encuentran evidencias de que exista una relación entre la masa de las galaxias y los HR. Los propios autores interpretan esta ausencia de correlación como el resultado de su mejor técnica de ajuste de curvas teniendo en cuenta la diversidad en las SNe Ia.

Es bastante probable, sin embargo, que la masa de la galaxia anfitriona sea simplemente un trazador de alguna propiedad física de la galaxia, como la metalicidad, ya que todas las SNe Ia parecen verse afectadas por la masa total de su anfitriona. Han sido varios los estudios previos que han estudiado la metalicidad de la galaxia anfitriona, encontrándose que las SNe Ia en galaxias más metálicas son más luminosas tras las correcciones por sus LCs, y que sus residuos de Hubble (HR; la diferencia entre el módulo de distancia medido y el esperado por la cosmología) son ~ 0.1 mag más brillantes en las galaxias metálicas que en las pobres en metales, con niveles de confianza entre 2.5 y 4σ . Sin embargo, debido a que se requieren datos espectroscópicos con buena señal a ruido para medir la metalicidad, ésta es más difícil de medir que la masa, de modo que la muestra de objetos es menor.

Otros estudios han investigado regiones locales de formación estelar. Rigault et al. (2013) utilizaron la muestra de SN Factory, mientras que Rigault et al. (2015) utilizaron la muestra de Constitution (Hicken et al., 2009) para estudiar zonas de formación estelar local con datos en ultravioleta (FUV/-

NUV) con GALEX¹. Mostraron que las SNe localizadas en galaxias o regiones con formación estelar activa eran de media 0.094 ± 0.037 mag más débiles que las SNe Ia localizadas en entornos pasivos. Kelly et al. (2015) muestran que las distancias a SNe Ia en regiones de formación estelar se pueden calibrar por debajo de 4% de precisión. Sugieren que el mayor factor de dispersión en esta muestra se debe al tipo de progenitor en estas regiones.

Resumiendo, se acepta como un hecho comprobado que las SNe Ia son sistemáticamente más brillantes en galaxias masivas que en galaxias de baja masa, *después de la corrección por las características de la LC, forma y color*. A través de la relación masa-metalicidad, podría implicar una correlación entre la magnitud de las SNe Ia y la metalicidad de las galaxias anfitrionas: a las SNe Ia localizadas en galaxias ricas en metales se les está aplicando una corrección excesiva. Sin embargo, no se conoce ni comprende la causa de este hecho. El enriquecimiento en metales de las galaxias con el paso del tiempo induce un cambio en las abundancias químicas que cambia con el redshift (Hammer et al., 2005; Erb et al., 2006; Liang et al., 2006; Lara-López et al., 2009). Estas calibraciones han sido basadas en objetos locales, con metalicidades probablemente casi solares. Hasta ahora, la dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad no se ha tenido en cuenta en análisis cosmológicos, y podría jugar un papel importante en la determinación de distancias cosmológicas con gran precisión utilizando SNe Ia.

De hecho, desde el punto de vista teórico se estima que hay una dependencia entre la luminosidad máxima de la SN Ia con la metalicidad del sistema binario: asumiendo que la masa de la enana blanca (WD, del inglés *White Dwarf*) es constante, los parámetros que dominan en la relación entre el ancho de la LC y la magnitud en su máximo son la opacidad de las partes externas del material eyectado (Hoefflich y Khokhlov, 1996; Mazzali et al., 2001), y la evolución temporal de la ionización del hierro (ver Kasen y Woosley, 2007), que depende de la temperatura debida al decaimiento radiactivo de ^{56}Ni . Timmes et al. (2003) mostró que el exceso de neutrones en la explosión de una WD es una función directa de la metalicidad de la estrella progenitora, y que este exceso es el que controla el cociente entre abundancias radiactivas (^{56}Ni) a no radiactivas (elementos del grupo del hierro). Esto afecta al momento en que se alcanza la luminosidad máxima de la explosión (Travaglio et al., 2005; Podsiadlowski et al., 2006). De manera que la luminosidad de la SN Ia depende básicamente de la masa de ^{56}Ni eyectada en la explosión (Arnett, 1982):

$$L \propto M(^{56}\text{Ni}) \text{ erg s}^{-1} \quad (1.1)$$

Por ende, la metalicidad del sistema progenitor puede tener influencia sobre la magnitud absoluta de la SN Ia (Bravo et al., 2010). Así, la máxima luminosidad de la explosión de las SNe Ia depende de las abundancias iniciales

¹El satélite Galaxy Evolution Explorer (NASA)

de C, N, O y Fe de la progenitora de la WD. Los modelos de Timmes et al. (2003) predijeron esta dependencia, sugiriendo que variando un orden 3 en la metalicidad se podría inducir una variación de aproximadamente el 25 % en la masa de ^{56}Ni sintetizada durante la explosión para metalicidades iniciales más altas que la solar tal y como muestra la ecuación:

$$M(^{56}\text{Ni}) \sim f(Z) = 1 - 0.057 \frac{Z}{Z_{\odot}}. \quad (1.2)$$

Recientemente, Bravo et al. (2010) computaron una serie de explosiones de SNe Ia, encontrando una dependencia incluso más fuerte con la metalicidad:

$$M(^{56}\text{Ni}) \sim f(Z) = 1 - 0.075 \frac{Z}{Z_{\odot}}. \quad (1.3)$$

También exploraron la dependencia de los parámetros de la explosión con la composición química local, la fracción de masa de C, y la neutronización. Encontraron también una dependencia de segundo orden, dependiendo de los parámetros iniciales y de las propiedades del sistema progenitor.

$$M(^{56}\text{Ni}) \sim f(Z) = 1 - 0.18 \frac{Z}{Z_{\odot}} \left(1 - 0.10 \frac{Z}{Z_{\odot}} \right) \quad (1.4)$$

Estas relaciones pueden verse en la Figura 1.3, las líneas son los ajustes que marcan las Ecuaciones 1.3 (lineal) y 1.4 (no lineal).

Puesto que la luminosidad decrece cuando la metalicidad, Z aumenta, las SNe Ia localizadas en galaxias con $Z > Z_{\odot}$ deberían ser más débiles de lo esperado comparadas con aquellas localizadas en galaxias con $Z \leq Z_{\odot}$.

Gallagher et al. (2005) estudiaron la dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad, estimando la abundancia elemental de oxígeno mediante las líneas de emisión de las galaxias anfitrionas, encontrando que las galaxias más ricas en metales albergan las SNe Ia más débiles, de acuerdo con las predicciones teóricas expuestas anteriormente. Estos resultados se basan en espectros de los centros galácticos. Además, Gallagher et al. (2008) analizaron índices de absorción espectral en galaxias tempranas encontrando también una correlación entre las magnitudes y las abundancias metálicas de las galaxias. De modo que estos resultados son consistentes con las predicciones dadas por Timmes et al. (2003) y con la tendencia observacional vista en Gallagher et al. (2005), sugiriendo que galaxias ricas en metales producen SNe Ia menos luminosas que las galaxias pobres en metales.

En los últimos años han sido muchos los proyectos y muchas las instituciones que han recopilado un catálogo de SNe Ia para su estudio. Con el paso del tiempo y la llegada de las grandes colaboraciones, el número de SNe Ia observadas ha experimentado un crecimiento exponencial. Así se ha visto incrementado el efecto de los sistemáticos asociado al uso de SNe Ia para cosmología, incluyendo parámetros físicos adicionales para reducir la

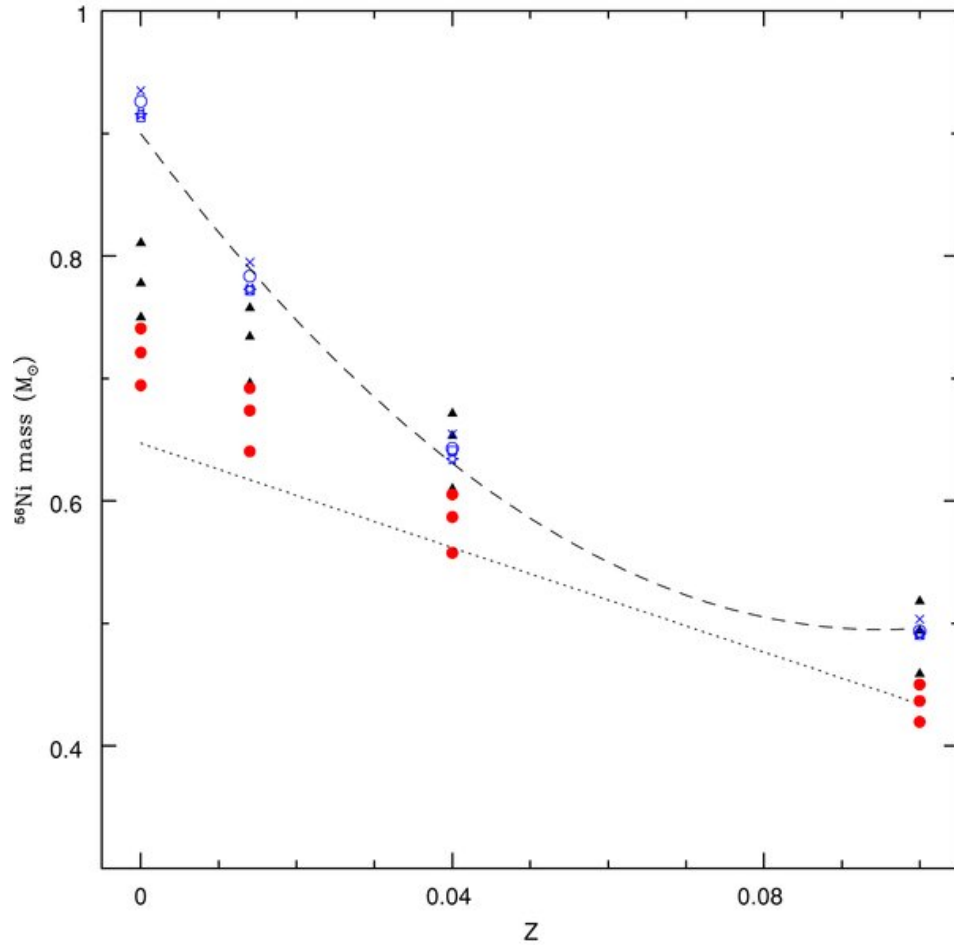


Figura 1.3 Masa de ^{56}Ni eyectada en la explosión en función de la metalicidad inicial (Z) del sistema progenitor para diferentes masas iniciales y parámetros de explosión. Figura de Bravo et al. (2010).

dispersión intrínseca de la población. Por citar a los principales proyectos, el *Carnegie Supernova Project* (Hamuy et al., 2006), el *Supernova Legacy Survey* (SNLS, Astier et al., 2006), *ESSENCE* (Wood-Vasey et al., 2007), *Sloan Digital Sky Survey* (SDSS, Frieman et al., 2008), *CfA*² Hicken et al. (2009) o PESSTO³ (Smartt et al., 2015). Este último se centra en realizar seguimiento espectroscópico de SNe y no en encontrarlas, como hace el resto. Combinados, se superan ya las 1000 SNe Ia confirmadas espectroscópicamente, aptas para su uso en cosmología. Puesto que la detección de SNe Ia se ha incrementado enormemente en los últimos años, y se incrementará de manera extraordinaria con los nuevos y futuros cartografiados (DES⁴, LSST⁵), se reducirán los errores estadísticos. Esto dará paso a una dominación de los errores sistemáticos que serán los que en último término limiten la precisión de las SNe Ia como indicadores de distancias extragalácticas. En realidad, una calibración entre la LC y la magnitud absoluta de las SNe Ia podría no ser completamente válida para objetos con unas abundancias químicas diferentes a aquellas de los objetos con los que se ha hecho la calibración. En consecuencia, la metalicidad podría convertirse en una fuente de errores sistemáticos al utilizar las técnicas estándar de estimación de distancias en este tipo de proyectos. De ahí la importancia de caracterizar una posible dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad.

1.2. Objetivo de la tesis

El objetivo de esta tesis es comprobar si hay realmente una dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad o abundancia en metales de su entorno. Si esto ocurre, mi propósito es comprobar si es necesario o conveniente tener en cuenta este factor a la hora de realizar estudios cosmológicos de determinación de distancias para limitar en lo posible los errores sistemáticos. Esto podría implicar el uso de una corrección en el cálculo del módulo de distancia. Este módulo se calcula actualmente mediante la expresión:

$$\mu = m - M + \alpha(s - 1) - \beta C \quad (1.5)$$

donde α y β son parámetros que describen las LCs en función de la anchura y el color, y que son parámetros en un ajuste junto con los parámetros cosmológicos y la magnitud absoluta, M , de las SNe Ia. Los parámetros s y C son el *stretch* (anchura) de la LC y el color de cada SN Ia. $s = 1$ y $C = 0$ indican que esa SN Ia en particular es estándar. Éste es el procedimiento del código de ajuste *The Spectral Adaptive Light-curve Template* (SALT2, Guy

²Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics Supernova Sample

³The Public European Southern Observatory Spectroscopic Survey of Transient Objects

⁴<http://www.darkenergysurvey.org>

⁵<http://www.lsst.org/lsst/>

et al., 2007), mediante el cual se minimiza la dispersión en el Diagrama de Hubble respecto a un modelo cosmológico dado, utilizando todas las SNe Ia disponibles.

Lo que aquí se analizará es si es razonable tener en cuenta otro factor, de manera similar a lo propuesto en Lampeitl et al. (2010); Sullivan et al. (2010); Betoule et al. (2014), relacionado con la metalicidad:

$$\mu = m - M + \alpha(s - 1) - \beta C + \gamma \frac{Z}{Z_{\odot}} \quad (1.6)$$

donde el término γ hace referencia a un parámetro que sigue la ley de dependencia de la magnitud absoluta de las SNe Ia con la metalicidad, y Z/Z_{\odot} es la metalicidad de cada objeto sobre la metalicidad solar⁶.

1.3. Estructura de la tesis

Esta tesis recoge el trabajo que he desarrollado durante los últimos cinco años en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). El contenido de la tesis es el siguiente.

En el Capítulo 2 realizo una introducción general para las supernovas (SNe), incluyendo los mecanismos físicos que las generan y las diferencias entre los distintos tipos de SNe. En particular desarrollo el contexto de la cosmología de supernovas de tipo Ia.

Tras ello, en el Capítulo 3 describo el estudio las abundancias de oxígeno de las regiones H II. Introduzco conceptos relativos a la determinación de la naturaleza de la emisión proveniente de las regiones de formación estelar y discuto las principales calibraciones empíricas utilizadas a lo largo de la tesis.

El Capítulo 4 resume las observaciones astronómicas llevadas a cabo durante dos campañas en 2011 y 2014, en las que haciendo uso de la espectroscopía de rendija larga se han obtenido datos de 28 galaxias cercanas en el 4.2m William Herschel Telescope (WHT). Se detalla también todo el proceso de reducción y calibrado de datos astronómicos.

El Capítulo 5 presento los resultados obtenidos para la muestra de galaxias locales observadas en el WHT. Se calcula para cada galaxia un gradiente de abundancia de oxígeno y se relaciona la metalicidad del entorno local de cada SN Ia con su luminosidad. Se discuten asimismo las implicaciones de esta relación.

En el Capítulo 6, como caso particular a las observaciones de las galaxias del capítulo anterior, desarrollo el caso de la supernova de tipo Ia 2014J, donde, como parte de una colaboración para hacer un seguimiento espectroscópico de la misma, se ha caracterizado espectralmente y comparado con otras supernovas conocidas.

⁶Esto se puede expresar como $\frac{Z_i}{Z_{\odot}} = 10^{12 + \log(O/H)_i - 8.69}$, asumiendo una abundancia solar de $12 + \log(O/H)_{\odot} = 8.69$, según Asplund et al. (2009).

El Capítulo 7 está dedicado al estudio de 455 galaxias pertenecientes a los catálogos de SDSS y Union2.1. En él se obtienen una abundancia de oxígeno para cada galaxia y se realiza un estudio sistemático entre las propiedades de las SNe Ia y las características de las galaxias anfitrionas.

En el Capítulo 8 se describen las observaciones realizadas con el 10.4m Gran Telescopio Canarias (GTC), y se presentan los resultados obtenidos para 6 galaxias distantes ($z \sim 0.4 - 0.5$).

El Capítulo 9 compila datos obtenidos para las galaxias locales, de SDSS y de GTC. Se obtienen los parámetros cosmológicos sin tener y teniendo en cuenta la metalicidad del entorno de las SNe Ia y se comparan los resultados obtenidos.

Por último, en el Capítulo 10 presento las conclusiones y una línea de trabajo futuro.

Capítulo 2

Supernovas

Las supernovas (SNe) son el resultado final en la escala evolutiva de algunas estrellas, en forma de explosión. Las explosiones de SN son extremadamente luminosas y causan chorros de radiación que pueden durar varias semanas o meses. Su nombre viene de la necesidad de distinguirlas de otro proceso estelar llamado nova, el cual se produce cuando una enana blanca comienza la acreción de hidrógeno de compañeras más grandes. En este caso, el gas capturado se compacta en la superficie de la enana blanca y, como consecuencia de esta compresión, se inicia la combustión y comienza a haber fusión nuclear. Aunque el brillo de la enana blanca aumenta, sólo son explosiones superficiales. En contraposición, el prefijo *super* fue añadido a escenarios en los cuales la estrella completa explota (Baade y Zwicky, 1934), siendo estos casos los del interés del presente trabajo.

La primera SN en ser detectada de la cual existe un registro histórico escrito fue avistada en el año 185 d.C. por astrónomos chinos entre las constelaciones del Compás y el Centauro. Entre ésta y las de la era moderna, se han podido ver otras SNe en el cielo a ojo desnudo, contrastadas mediante registros escritos independientes relativos a diferentes civilizaciones y cultu-

Tabla 2.1 Supernovas históricas.

Fecha	Constelación	RA	DEC	magnitud
185 AD	Centauro	14:43.1	−62:28	−2
393/396 AD	Escorpio	17:14	−39.8	−3
1006 Apr 30	Lobo	15:02.8	−41:57	−9
1054 Jul 4	Tauro	05:34.5	+22:01	−6
1181 Aug 6	Casiopea	02:05.6	+64:49	−1
1572 Nov 6	Casiopea	00:25.3	+64:09	−4
1604 Oct 9	Ofiuco	17:30.6	−21:29	−6
1680? 1667?	Casiopea	23:23.4	+58:50	6?

ras de la antigüedad. El evento más brillante observado por el ser humano ocurrió en abril del 1006 d.C. en la constelación de El Lobo, y alcanzó una magnitud aparente $m \approx -7.5$, y mantuvo iluminadas las noches durante varias semanas. En 1054 en la constelación de Tauro, se detectó otra explosión, cuyo remanente se conoce como la Nebulosa del Cangrejo, y es uno de los objetos más estudiados fuera del sistema solar. Otros eventos famosos han sido la SN1572 en Casiopea, y la SN1604 en Ophiucus, descubiertas por Tycho Brahe y Johannes Kepler respectivamente. Éstas fueron las últimas supernovas que hemos detectado en la Vía Láctea y observadas a ojo desnudo. Sin embargo, en 1987, hubo una SN en la Gran Nube de Magallanes, que pudo ser observada a simple vista. En la Figura 2.1 se muestran algunas imágenes de las remanentes de estas supernovas, que aparecen como nubes de gas en expansión.

Tradicionalmente, cuando se descubre una supernova, se informa a la Unión Astronómica Internacional (IAU, del inglés *International Astronomical Union*), que publica una circular confirmando la explosión. Se nombran con el acrónimo SN seguido del año del descubrimiento y una o dos letras. Las primeras 26 SN descubiertas en un año, llevan una letra mayúscula de la A a la Z, y a partir de ahí, son dos letras minúsculas: aa, ab, ac, y así sucesivamente. Esta notación comenzó a utilizarse en 1885, mientras que anteriormente se conocían simplemente por el año en que ocurrieron. Hasta 1987, las designaciones con dos letras apenas se utilizaron. Este aumento se debe a la instrumentación moderna, gracias a la cual se detectan en mayor cantidad.

2.1. Clasificación y física de supernovas

Las supernovas se clasifican en tipos I y II. Históricamente, esto se ha hecho en función de sus características espectrales en su época de brillo máximo. Hoy en día, aunque se mantienen estas clases, también se hace una distinción entre los procesos responsables de la explosión, y las diferencias en las LCs. La nucleosíntesis primordial nos dice que, al principio, el Universo estaba compuesto únicamente por hidrógeno y helio¹, más trazas de Litio y Berilio. Los elementos más pesados que encontramos en el presente fueron procesados mediante reacciones de fusión nuclear en el interior de las estrellas, o por la acción de las estrellas. Pero, hasta que las estrellas se crearon, el Universo consistía básicamente en una gran cantidad de nubes de gas de hidrógeno y helio. Así pues, el hidrógeno, el elemento más abundante en el Universo, es el que proporciona la primera criba a la hora de clasificar supernovas. Su no aparición en los espectros discrimina entre supernovas de tipo I, con ausencia de líneas de hidrógeno, y tipo II que sí las tiene.

¹En Astrofísica, se denomina metales a todos los elementos químicos distintos de H y He.

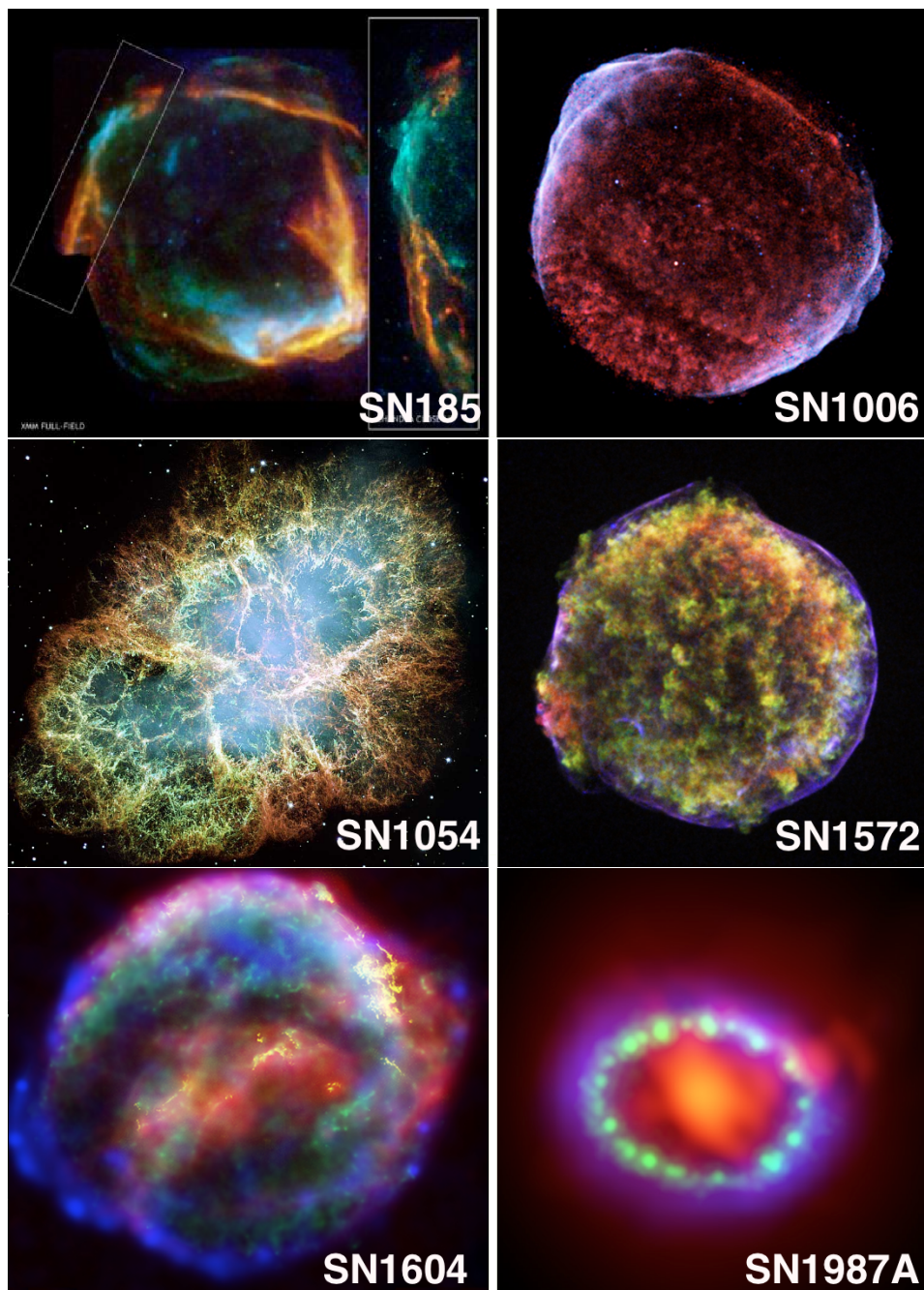


Figura 2.1 Remanentes de supernovas históricas. Imágenes del NASA/Chandra X-ray Observatory y de ALMA (ESO).

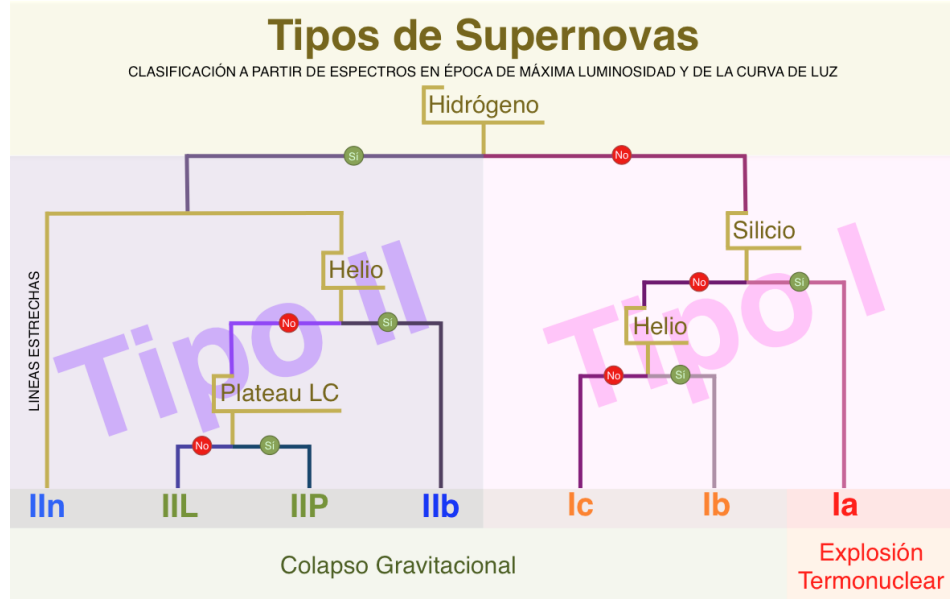


Figura 2.2 Esquema de la clasificación de las SN dependiendo de las líneas de absorción en los espectros de máxima luminosidad y de las características de las LCs.

En la Figura 2.2 se muestra un esquema para la clasificación de las supernovas.

2.1.1. Supernovas de Tipo I

Las SNe I se caracterizan por la completa ausencia de líneas hidrógeno. Cuando existe una fuerte línea de absorción cerca de los 6150 Å, causada por la presencia de silicio², se denominan tipo Ia. Cuando esta línea de Si II no aparece, y dependiendo de la presencia o ausencia de Helio 5876 Å o no, se asignan como tipo Ib (con He) o tipo Ic (sin He).

Estas diferencias espectrales pueden explicarse mediante diferentes mecanismos de explosión. Los tipos Ib y Ic son supuestamente el resultado del colapso gravitatorio de los núcleos de estrellas masivas ($> 15\text{-}30 M_{\odot}$) que han perdido sus envolturas de H y He (en el caso de Ic) debido a fuertes vientos asociados a estrellas Wolf-Rayet o en beneficio de una estrella compañera. De hecho, estos objetos muestran una amplia diversidad espectral en sus características y LCs pero todas se denominan, junto con las tipo II (ver siguiente sección), CC SNe (de término en inglés *Core Collapse Supernovae*).

Aunque no existe evidencia observacional, es un hecho ampliamente aceptado que las SNe Ia son explosiones termonucleares de WDs. Su origen no

²Líneas de absorción de Si II a 6347 Å y 6371 Å, que se encuentran corridas al azul, debido a la velocidad del gas en la dirección y sentido del observador.

está determinado con total seguridad. Hay dos escenarios principales para el sistema progenitor. El primero es el escenario simple degenerado (SD, Nomoto, 1982; Whelan y Iben, 1973) y ocurre cuando una WD en un sistema binario recoge masa de su compañera no degenerada (por ejemplo, una gigante roja), hasta que alcanza el límite de Chandrashekar ($M \sim 1.40M_{\odot}$), momento en el cual la estrella no puede soportar más la presión ejercida por los electrones degenerados y explota. Por otro lado, el escenario doblemente degenerado (DD, Iben y Tutukov, 1984; Webbink, 1984) consiste en dos WD gravitatoriamente ligadas que se fusionan al ir perdiendo momento angular (Tutukov y Iungelson, 1976; Tutukov y Yungelson, 1979). En ese momento, se produce la explosión, no dejando fósil compacto alguno salvo el remanente (González Hernández et al., 2012).

Las líneas de hidrógeno nunca aparecen en los espectros de las SNe Ia en ninguna fase de su evolución. En general, al ser las únicas que presentan líneas de absorción de silicio, se pueden distinguir con seguridad del resto de supernovas a partir de sus espectros (Filippenko, 1997), pero hay que poner especial hincapié para separarlas de las SNe Ib/c, que producen espectros similares en fases tempranas. Otros criterios secundarios de clasificación se basan en la aparición tardía de líneas prohibidas de hierro y cobalto en los espectros, la forma de la LC, la evolución del color, e incluso la morfología de la galaxia anfitriona. Ninguno de estos es criterio suficiente por sí mismo, pero proporciona información adicional a la hora de la clasificación.

Las SNe Ia son unas herramientas excepcionales para el cálculo de distancias cosmológicas por lo que hacen un papel especial en cosmología. El aspecto fundamental es que todas ellas poseen una magnitud absoluta en la época de máximo brillo en torno a un valor fijo ($M_B = -19.5$) con una dispersión intrínseca muy baja (~ 0.35 mag). Por esto se las conoce como *candelas estándar*. Por otra parte son eventos extremadamente luminosos, que se pueden detectar y observar a distancias considerables. La magnitud absoluta se relaciona con el cociente del decaimiento del brillo de la explosión. Esta correlación se conoce como la *relación de Phillips* y se utiliza para proporcionar medidas precisas de la magnitud absoluta a partir de la magnitud aparente, de su LCs y del color, y con ello de las distancias a esas supernovas de tipo Ia, con una precisión en torno al 7 %.

2.1.2. Supernovas de Tipo II

Las SNe se denominan de tipo II (SNe II) si muestran líneas de H en sus espectros. Los progenitores de las SNe tipo II son gigantes rojas, estrellas masivas con masas superiores a $8-10 M_{\odot}$ que terminan su vida con una explosión del núcleo de tipo colapso gravitatorio. Estos mecanismos son muy parecidos a los de los tipos Ib/c. Las SNe tipo II también se pueden dividir en subclases, en base a sus LCs. Aquellas en las que el brillo decae linealmente se denominan IIL, donde L hace referencia a *lineal*. En algunas de ellas el

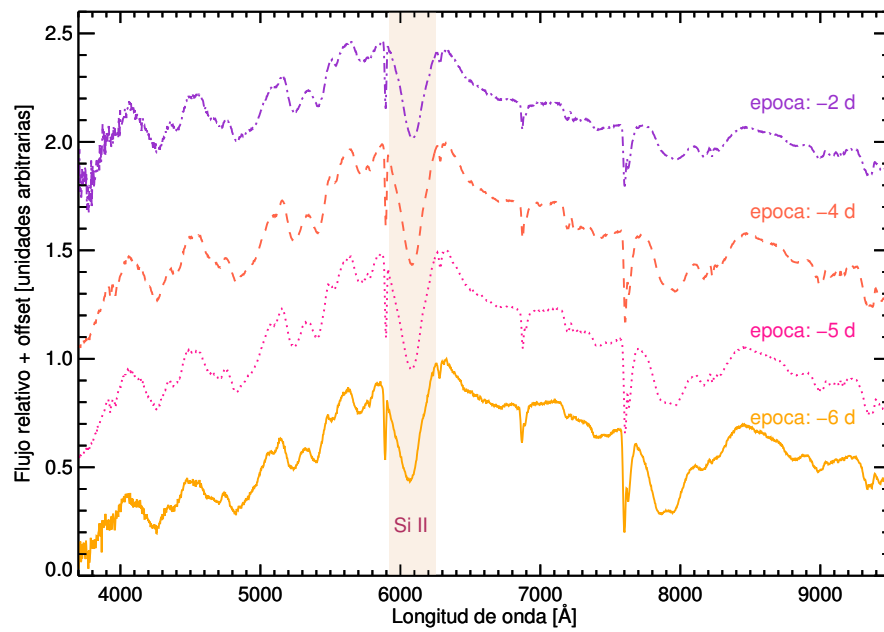


Figura 2.3 Representación de cuatro espectros de la supernova 2014J obtenidos en el 4.2-WHT en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Estos espectros fueron obtenidos con el espectrógrafo de baja resolución ACAM. En ellos se puede ver la fuerte absorción provocada por el Si II, que junto a la ausencia de hidrógeno, son las dos características principales para que la 2014J sea una SN Ia.

brillo decae y luego el decaimiento se frena durante algunos días, hasta que finalmente vuelve a decaer de nuevo, formándose así un *plateau*. Se habla entonces de SN IIP³. Además, algunas SNe tipo II muestran componentes relativamente estrechas en sus espectros en relación a la anchura habitual de las líneas en la mayoría de espectros de SNe tipo II. Éstas se clasifican como IIn, siendo n la denominación de esta estrechez de las líneas (del inglés *narrow*). Por último, algunas muestran hidrógeno en sus espectros en épocas tempranas, pero con el tiempo las líneas de helio empiezan a ser predominantes. A éstas se las conoce como supernovas IIb porque tienen una evolución similar a las SNe tipo Ib. Todas aquellas supernovas de tipo II que no encajen dentro de estas subclases, se denominan peculiares (II-pec).

2.2. Espectros de SNe Ia

Los espectros de las SNe Ia revelan detalles de su composición química, así como de su evolución en el tiempo. El 85 % de las SNe Ia descubiertas hasta hoy tienen espectros muy parecidos y LCs similares. Se conocen comúnmente como SNe Ia *Branch-normal* (Branch y Miller, 1993). Sus espectros en épocas tempranas (hasta una semana después de la máxima luz) presentan bandas anchas de absorción debido a las altas velocidades de eyección. Son líneas de elementos de masa intermedia, tales como O, Mg, Si, S o Ca, con alguna contribución de elementos del grupo del hierro, como Fe o Co. La característica más fuerte es la línea de Si II alrededor de 6150 Å desplazada al azul, y las líneas H y K de Ca II (3934 Å y 3968 Å, respectivamente). En la Figura 2.3 se muestran cuatro espectros obtenidos en enero de 2014 de la SN2014J, catalogada como SN Ia, en la que se aprecia la banda ancha de absorción asociada a la presencia de silicio. Conforme la explosión evoluciona, la contribución de elementos del grupo del hierro se incrementa. Dos semanas después del máximo, el espectro está dominado por las líneas de Fe II, indicando una gran cantidad de Fe sintetizado en la explosión, aunque otras líneas de elementos menos pesados siguen estando presentes (Si II, Ca II). Sin embargo, no todos los espectros de SNe Ia son idénticos. Las líneas de absorción no muestran siempre la misma anchura en una determinada época, lo que refleja que las velocidades a las que el gas se eyecta no son siempre iguales. Aquellas con velocidades más bajas se encuentran predominantemente en galaxias elípticas (Branch y Miller, 1993).

Algunas SNe Ia muestran absorciones débiles de silicio, calcio y azufre sólo en épocas tempranas, y tienen magnitudes más brillantes que las *Branch-normal*. Se denominan tipo-1991T (Phillips et al., 1992). Por otro lado, hay otros eventos que son más débiles: se trata de las subluminosas, del orden de ~ 1.6 mag en el filtro *V*, y ~ 2.5 mag en el filtro *B* más débiles en

³Estudios recientes muestran que IIP y IIL podrían formar un único continuo, dejando estas clases como obsoletas (Anderson et al., 2014).

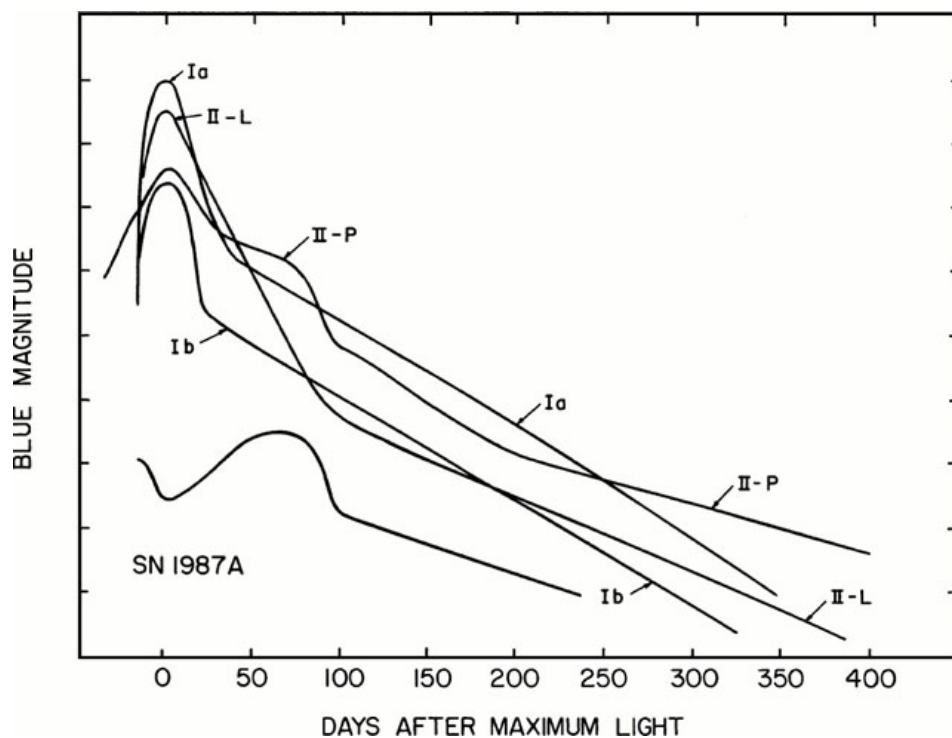


Figura 2.4 Representación esquemática de las LCs de cinco tipos distintos de supernovas (Ia, Ib, Ic, II-P, II-L), y la SN 1987A. Notar que las curvas de luz de SNe Ia tienen, en promedio, la magnitud pico más brillante. Figura de Wheeler y Harkness (1990).

comparación con las SNe Ia normales. Por último, hay varias supernovas que no muestran de manera clara estas componentes, y por ende no coinciden en estas subclases, como por ejemplo 2002ic (Howell et al., 2006) o 2007qd (McClelland et al., 2010). Se conocen como Ia-pec.

2.3. Curvas de luz de SNe Ia

La LC es la representación de la evolución del brillo de la explosión con el tiempo. El brillo de una SN Ia aumenta muy rápido durante dos semanas después de la explosión, hasta que alcanza un brillo máximo, momento en el cual, comienza a disminuir. Las LCs difieren para distintos tipos de SNe. La Figura 2.4 muestra diferentes LCs para distintas SNe, calculadas en base a magnitudes en la banda *B*.

Se pueden distinguir dos fases con ritmos diferentes de disminución en el brillo en las LCs de las SNe Ia. Al principio, éste disminuye de manera rápida debido al decaimiento radiactivo de ^{56}Ni ⁴. En épocas más tardías,

⁴ $^{56}_{28}\text{Ni} \rightarrow ^{56}_{27}\text{Co} + e^+ + \nu_e + \gamma$

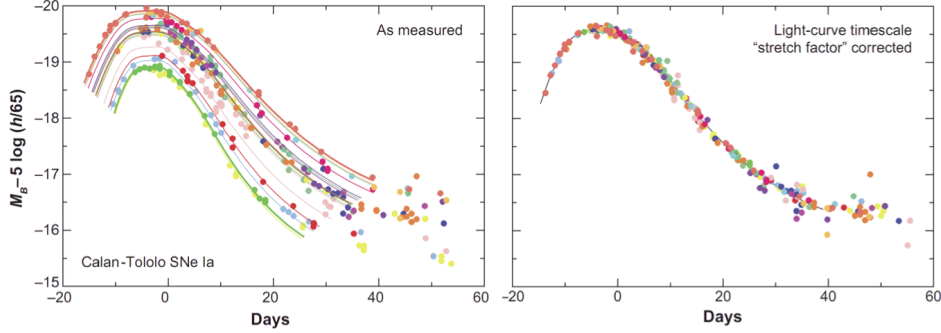


Figura 2.5 Diecisiete LCs, en la banda B , de SNe Ia a bajo redshift del survey Calán-Tololo (Hamuy et al., 1996b). A la izquierda muestran una dispersión de ~ 0.3 magnitudes en el pico de luminosidad. A la derecha, después de la corrección del ancho de la curva de luz y del brillo, la dispersión decrece hasta ~ 0.12 mag. Figura de Kim et al. (2004).

la pendiente se suaviza debido al decaimiento de ^{56}Co ⁵ (Colgate y McKee, 1969).

Como las SNe Ia son el fruto de explosiones del mismo tipo de estrellas, con masas y evoluciones similares, se espera que tengan un máximo de luminosidad similar y LCs homogéneas. De hecho, como se ha dicho antes, tienen una luminosidad muy parecida en el máximo de su LC, con una dispersión intrínseca de unas ~ 0.35 mag (Childress et al., 2013) alrededor de un valor medio de -19.35 mag. Además, cuanto más brillante es una SN Ia, más lentamente decae su brillo una vez alcanzado el máximo, mientras que las SNe Ia más débiles, presentan un decaimiento más rápido. Es por tanto factible normalizar estas LCs de las SNe Ia como puede verse en el panel derecho de la Figura 2.5.

2.3.1. Parametrización de Curvas de Luz y modelos

Existen muchos procedimientos para estandarizar LCs de SNe Ia, con el objetivo de reducir la dispersión de sus magnitudes en el máximo de luz de las LCs, y hacer así las medidas más precisas a la hora de determinar parámetros cosmológicos. Uno de estos procedimientos se basa, como ya explicamos antes, en la relación entre la anchura de la LC con la luminosidad máxima alcanzada. Phillips (1993) encontró una relación lineal entre la magnitud alcanzada en ese máximo en la banda B , y la diferencia entre ésta y la correspondiente 15 días después del máximo,

$$\Delta m_{15,B} = m_B(t_{\max}) - m_B(t_{\max+15 \text{ days}}), \quad (2.1)$$

⁵ $^{56}_{28}\text{Co} \rightarrow ^{56}_{26}\text{Fe} + e^+ + \nu_e + \gamma$

relación actualmente conocida como *Relación de Phillips* (ver Figura 1.2). Otros han utilizado también medidas de la LC antes del máximo, como Perlmutter y et al., que parametrizó la LC linealmente mediante el *stretch*, s ⁶, que da cuenta de cuán ancha es una LC. Estas parametrizaciones redujeron la dispersión de M_B un factor 2, de $\sigma_{M_B} \sim 0.30$ a $\sigma_{M_B} \sim 0.15$. Otro procedimiento considera el exceso de color para estandarizar la LC. Asimismo se ha intentado considerar componentes espectrales, como cocientes entre líneas, etc., pero no se han encontrado resultados que hagan disminuir significativamente la dispersión de la magnitud absoluta.

Con todas estas correcciones, las SNe Ia se consideran *candelas estandarizables*, aunque no es una estandarización del todo perfecta. Una vez corregidas estas medidas permiten su uso en la cosmología proporcionando medidas precisas de distancias.

⁶El parámetro s tiene en cuenta toda la LC. Esto es, considera tanto etapas antes como después del máximo, mientras que ΔM_{15} sólo tiene en cuenta el decaimiento ocurrido en 15 días desde el máximo. s es un parámetro más poderoso para la parametrización de la LC de las SNe Ia

Capítulo 3

Abundancias elementales

La historia química del Universo se puede investigar mediante el estudio de las diferentes especies químicas, que son los indicadores principales de la evolución química de las galaxias. En Astrofísica se denomina metales a todos aquellos elementos químicos diferentes de hidrógeno y helio, que eran los únicos representativos en la nucleosíntesis primordial (aparte de la presencia testimonial de trazas de litio y berilio). Si dos elementos son producidos por estrellas del mismo rango de masas, estos aparecerán de manera simultánea en el ISM, y por consiguiente su abundancia relativa permanecerá constante. Si por el contrario, se producen en estrellas de diferentes rangos de masas, serán expulsados al ISM en diferentes escalas temporales. Las abundancias químicas de los elementos respecto al hidrógeno se pueden estudiar midiendo las líneas de absorción y emisión en los espectros de estrellas y gas, respectivamente. El oxígeno es el tercer elemento más abundante del Universo, y por esta razón se ha utilizado históricamente como el principal trazador de metalicidad para estos objetos.¹

El análisis espectral de regiones H II proporciona información acerca de la composición química actual del medio interestelar en diferentes tipos de galaxias o en diferentes regiones de estas galaxias, siempre que haya formación estelar reciente (esto es que aún haya estrellas masivas). Estos resultados proporcionan una fuente fundamental para los modelos de evolución química de las galaxias. El oxígeno se toma como el elemento representativo cuando se habla de metalicidad del medio, ya que es el elemento más identificable en el espectro óptico del gas fotoionizado. Dejando de lado la construcción de modelos de fotoionización que reproducen los espectros, existen diferentes medios para determinar la abundancia de oxígeno directamente de espectros observados. Cuando estos son lo suficientemente profundos como para que se puedan identificar y medir las líneas más débiles necesarias para la deter-

¹ Hay que tener en cuenta que la existencia de granos de polvo reduce en algunos casos las abundancias al quedar atrapados algunos elementos en estas partículas. Esto ocurre solo con ciertos átomos, incluido el oxígeno.

minación de la temperatura electrónica, como [O III] $\lambda 4363$ y [N II] $\lambda 5755$, se puede utilizar el método directo para determinar las abundancias de los iones O^+ y O^{++} , y obtener la abundancia total de oxígeno sumando estas abundancias iónicas. Por otro lado, cuando no se detectan las líneas sensibles a la temperatura, se debe acudir a métodos basados en las intensidades de líneas intensas, conocidos como métodos SEL (del inglés *Strong Emission-Line methods*). Estos están calibrados con datos observacionales en regiones de formación estelar bien resueltas en las que las metalicidades han podido ser estimadas por medio del método directo, o por modelos de fotoionización. Las líneas más intensas en los espectros ópticos de regiones H II que se utilizan en los métodos SEL son $H\alpha$, $H\beta$, [O II] $\lambda 3727$, [O III] $\lambda 5007$, [N II] $\lambda 6584$ y [S II] $\lambda \lambda 6717, 673$.

3.1. Líneas de emisión permitidas y prohibidas

El estudio físico de las regiones H II se realiza analizando las líneas de emisión presentes en su radiación electromagnética. Para comprender el origen de las líneas de emisión es necesario analizar el comportamiento cuántico de los átomos, iones y electrones (materia) y su interacción con los fotones (radiación). La materia y la radiación interaccionan entre sí únicamente mediante tres procesos: emisión y absorción de fotones y dispersión. Los dos primeros se subdividen en tres tipos: transiciones ligado-ligado (cuando el número de electrones de un átomo, ion o molécula no varía), transiciones ligado-libre (cuando se emiten electrones) y transiciones libre-libre (si uno o más electrones son absorbidos).

Un sistema atómico puede cambiar su estado energético siguiendo tres procesos que involucran interacción con la radiación (emisión espontánea, absorción o emisión estimulada de fotones) pero también al interaccionar con otras partículas (excitaciones y desexcitaciones colisionales). En el medio interestelar y en frecuencias ópticas, el único proceso radiativo importante es la emisión espontánea. Además, la materia está muy diluida y la mayoría de las transiciones colisionales son consecuencia de interacciones con electrones. Así, un átomo o ión abandona su estado fundamental cuando colisiona con un electrón, permaneciendo en un estado excitado hasta que la emisión de un fotón o una nueva colisión lo devuelve a su estado fundamental. Si consideramos un átomo con sólo dos niveles, siendo N_1 la población del nivel fundamental y N_2 la del estado excitado (ambos en cm^{-3}), suponiendo que el número de transiciones del nivel 1 al 2 es el mismo que el número de transiciones del 2 al 1, la ecuación de equilibrio estadístico es

$$N_2 n_e q_{21}^e + N_2 A_{21} = N_1 n_e q_{12}^e$$

transiciones $2 \rightarrow 1$ transiciones $1 \rightarrow 2$

donde n_e (cm^{-3}) indica el número de electrones (las partículas colisionan-

tes), q_{12}^e y q_{21}^e son los coeficientes de ritmo de excitaciones y desexcitaciones colisionales ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$) y A_{21} es el coeficiente de Einstein de emisión espontánea (s^{-1}). A_{21}^{-1} es una medida del tiempo que tarda un átomo en un estado excitado en regresar al nivel fundamental, el llamado tiempo característico. La forma normal de regresar al nivel fundamental es por interacciones dipolares eléctricas, que poseen altos valores de A_{21} (entre 10^4 y 10^9s^{-1}) y, en consecuencia, tiempos característicos muy cortos. Estas transiciones se denominan comúnmente *permitidas*. Sin embargo, algunas transiciones no pueden realizarse de esta forma, por lo que se deben emplear procedimientos alternativos como transiciones dipolares magnéticas o transiciones cuadrupolares eléctricas. Los valores de A_{21} para estas transiciones son mucho menores que los de las transiciones dipolares eléctricas (entre 10^{-4} y 1s^{-1}), por lo que sus tiempos característicos son más elevados, entre segundos y horas. Estas transiciones son denominadas *prohibidas* porque están estrictamente prohibidas en términos de las reglas de selección cuánticas para la emisión de radiación dipolar eléctrica. Por último, el átomo o ion también puede regresar a su nivel fundamental si *colisiona* con otro electrón, pero dadas las bajas densidades de las nebulosas (típicamente entre 10 y 10^4cm^{-3}), la desexcitación colisional es tan baja que normalmente en unos pocos segundos se emite un fotón creado por una transición prohibida. Se puede reescribir la ecuación anterior como

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{q_{12}^e}{q_{21}^e + A_{21}/n_e} \quad (3.1)$$

por lo que, descartando la emisión estimulada, el número de fotones emitidos por unidad de tiempo y volumen es

$$S_{21} = N_2 A_{21} = \frac{N_1 q_{12}^e}{q_{21}^e + A_{21}/n_e} \quad (3.2)$$

estando S_{21} en unidades de $\text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}$. Podemos estudiar los casos extremos de alta y baja densidad. Para alta densidad, $n_e \rightarrow \infty$, la ecuación 3.1 es equivalente a la ecuación de Boltzmann:

$$\frac{N_2}{N_1} \rightarrow \frac{q_{12}^e}{q_{21}^e} = \frac{g_2}{g_1} e^{-\Delta E_{21}/kT_e} A_{21} \quad (3.3)$$

donde g_1 y g_2 son los pesos estadísticos de cada nivel, ΔE_{21} la diferencia de energía entre los dos niveles, k es la constante de Boltzmann y T_e la temperatura electrónica. En esta situación, el número de fotones emitidos por unidad de tiempo es

$$S_{21} \rightarrow N_1 \frac{g_2}{g_1} e^{-\Delta E_{21}/kT_e} A_{21} \quad (\text{altas densidades}). \quad (3.4)$$

Sin embargo, para bajas densidades, $n_e \rightarrow 0$, la ecuación 3.1 se reduce a

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{q_{12}^e n_e}{A_{21}} \quad (3.5)$$

de manera que

$$S_{21} \rightarrow N_1 n_e q_{12}^e \text{ (bajas densidades)}. \quad (3.6)$$

Por lo tanto, a altas densidades el número de fotones emitidos es proporcional al coeficiente de Einstein A_{21} pero a bajas densidades es independiente de él. El límite de alta densidad se satisface en La Tierra o en las atmósferas estelares: es así imposible detectar líneas prohibidas en esas condiciones. Pero en una región H II la situación es completamente diferente porque son objetos con densidades muy bajas. Por esto se observan líneas prohibidas en los espectros nebulares, así como las permitidas. Para hacer una distinción en el tipo de línea, las producidas por transiciones prohibidas vienen escritas entre corchetes, por ejemplo [O III] $\lambda 5007$, que representa transiciones por excitación colisional en el ion O^{++} , mientras que una línea permitida se escribe de la forma habitual: H β (H I $\lambda 4861$).

3.2. Estructura de nubes de gas y temperaturas

El saber cómo se distribuyen los iones metálicos en las regiones de H II es importante, ya que el ritmo de enfriamiento causado por transiciones en un ion depende de la proporción de ese elemento en ese estado de ionización, algo que es crucial para determinar las abundancias químicas. A partir de imágenes en filtros de banda estrecha se aprecia que existen varias regiones de ionización dentro de las nebulosas. Con el auge de la espectroscopía de campo integral, IFS (del inglés *Integral Field Spectroscopy*), la resolución de estas regiones se ha visto notablemente mejorada. A veces se aprecian muy bien las distintas regiones dentro de una nebulosa, pero hay ocasiones en las que la ionización es débil, y no se aprecian diferencias. Así, observar regiones H II utilizando filtros de banda estrecha es de ayuda para reconocer las regiones de ionización dentro una nebulosa. Normalmente, [O III] es el ion dominante en las partes internas de las regiones H II.

La estructura de ionización en las regiones H II responden a un mecanismo físico. El primer potencial del oxígeno es prácticamente idéntico al del hidrógeno, por lo que ambas especies deberían localizarse en regiones similares dentro de la nebulosa. Pero el oxígeno, a diferencia del hidrógeno, puede ionizarse varias veces, si las estrellas responsables de dicha ionización del gas son de tipo O o WR. El segundo potencial del oxígeno es 35.11 eV, mucho más alto que los primeros potenciales de hidrógeno y oxígeno. Las estrellas más calientes (tipos O y WR) emiten, sin embargo, suficientes fotones para ionizar una fracción significativa del oxígeno a su segundo estado de ionización.

Se suele definir un esquema a dos zonas a la hora de describir la estructura de ionización de una región H II. [O III] y todos los iones ionizados dos o más veces, como [S III], [Ne III], se localizan únicamente en las regiones más internas de las nebulosas ionizadas por estrellas calientes. Se define ésta como

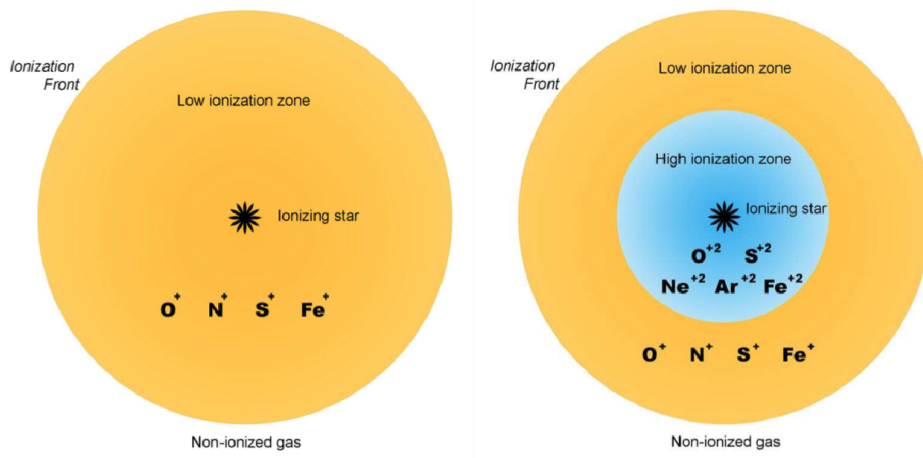


Figura 3.1 Esquemas de las estructuras de ionización en las regiones H II. A la izquierda, distribución iónica estándar para regiones H II ionizadas por estrellas no muy calientes (tipo B). A la derecha, distribución para regiones H II en torno a estrellas muy calientes (tipos O, WR), con la aparición de dos zonas de ionización diferenciadas (alta y baja).

la zona de alta ionización. Rodeando esta región se halla [O II] y los iones ionizados una sola vez, como [N II] o [S II], conformando la zona de baja ionización. Las estrellas más frías no emiten suficientes fotones energéticos, por lo cual no se realizan segundas ionizaciones.

La Figura 3.1 muestra esquemáticamente este esquema de ionización a 2 zonas de regiones H II. La distribución de temperaturas en una región H II depende de la distancia a la estrella ionizante y es un problema que no se puede resolver fácilmente. Sin embargo, este sencillo esquema sirve para ilustrar el entorno de una región H II de manera somera.

3.3. Parámetro de ionización

Los metales, dentro de las regiones H II, muestran diferentes relaciones entre estados ionizados una o varias veces. De este modo, el espectro de líneas de emisión de una nebulosa no depende únicamente de la distribución espectral de energía del campo de radiación y de su metalicidad, sino que también depende del grado de ionización. El parámetro de ionización en un punto de la nebulosa depende principalmente de la densidad del gas y de la fracción de fotones de alta energía del espectro ionizante. Normalmente se define como (Stasińska et al., 2004):

$$U = \frac{Q(H^0)}{(4\pi R^2 n_e c)} \quad (3.7)$$

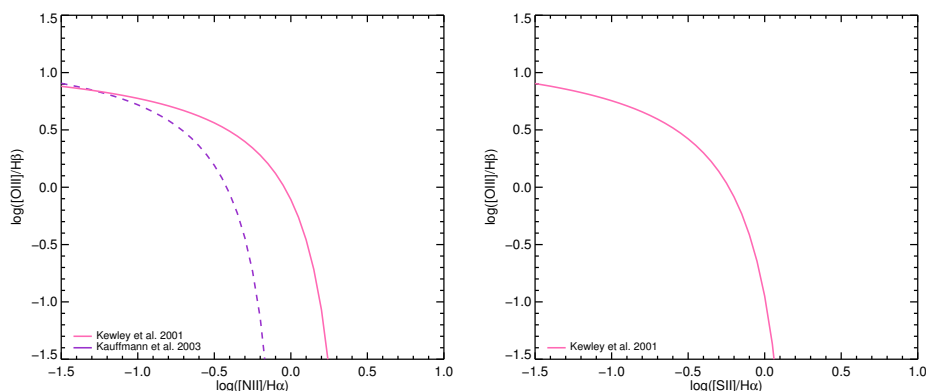


Figura 3.2 Diagramas de diagnóstico con la línea teórica propuesta por Kewley et al. (2001), línea continua rosa, y la empírica de Kauffmann et al. (2003), representada por la discontinua púrpura.

siendo c la velocidad de la luz. R es la distancia de la región considerada a la estrella ionizante y $Q(H^0)$ es el número de fotones ionizantes producidos por la estrella.

El parámetro de ionización se mide a partir del cociente entre abundancias iónicas de un mismo elemento, con el cociente O^{++}/O^+ como el más común. Pero esto implica que ya tenemos una determinación previa de la temperatura electrónica, lo que no es siempre posible. En este caso, se suelen utilizar los denominados cocientes de excitación, que involucran dos o tres líneas de emisión brillantes y dependen fuertemente del grado de ionización.

Aunque las regiones H II poseen un amplio rango de abundancias y parámetros de ionización, su posición en los llamados diagramas de diagnóstico, que tienen en cuenta los distintos cocientes de excitación, está bien determinada: todas ellas caen en una banda muy estrecha. Lo mismo ocurre cuando se consideran galaxias H II. Sin embargo, otros objetos en los que el gas no está ionizado por estrellas masivas, sino por choques de vientos estelares, discos de acreción o flujos de enfriamiento (es el caso de los Núcleos Activos de Galaxias, AGNs, y las Regiones de líneas de emisión de baja ionización, LINERs) se localizan lejos de las regiones H II en estos diagramas. La razón de este comportamiento es debida a que los AGNs y los LINERs tienen un espectro de ionización mucho más duro que el de las estrellas calientes. Sin embargo, los diagramas de diagnóstico no son relevantes para determinar ni la abundancia ni el parámetro de ionización. Este tipo de diagrama de diagnóstico fue propuesto por Baldwin et al. (1981), quienes apuntaron su utilidad para clasificar el mecanismo de excitación de las galaxias con líneas de emisión en regiones de formación estelar (como regiones H II) o tipo AGN (ionizadas por choques).

La Figura 3.2 muestra dos diagramas de diagnóstico involucrando varios

cocientes de líneas. Las líneas que delimitan la naturaleza de la emisión de cada objeto, que puede ser:

- **Regiones de formación estelar.** Caen por debajo de la línea empírica de Kauffmann et al. (2003) (línea rayada rosa en la Figura 3.2) en el diagrama de $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$, y la izquierda de la línea de Kewley et al. (2001) (línea sólida morada en la Figura 3.2) en el diagrama $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ vs $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$:

$$\log\left(\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}\right) < 0.61/(\log\left(\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}\right) - 0.05) + 1.130, \quad (3.8)$$

$$\log\left(\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}\right) < 0.72/(\log\left(\frac{[\text{S II}]\lambda\lambda 6717, 31}{\text{H}\alpha}\right) - 0.32) + 1.30 \quad (3.9)$$

- **Regiones Compuestas.** Se sitúan entre las líneas de Kauffmann et al. (2003) y Kewley et al. (2001) en el diagrama de $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$:

$$0.61/(\log\left(\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}\right) - 0.05) + 1.30 < \log\left(\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}\right) \quad (3.10)$$

$$0.61/(\log\left(\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}\right) - 0.47) + 1.19 < \log\left(\frac{[\text{O III}]}{\text{H}\beta}\right) \quad (3.11)$$

- **Regiones AGN.** Cuando están por encima de la línea de Kewley et al. (2001) en ambos diagramas: $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ vs $[\text{N II}]/\text{H}\alpha$ y $[\text{O III}]/\text{H}\beta$ vs $[\text{S II}]/\text{H}\alpha$, se considera que la naturaleza de las líneas se debe únicamente a choques.

$$0.61/(\log\left(\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}\right) - 0.47) + 1.19 > \log\left(\frac{[\text{O III}]}{\text{H}\beta}\right) \quad (3.12)$$

$$0.61/(\log\left(\frac{[\text{S II}]\lambda\lambda 6717, 31}{\text{H}\alpha}\right) - 0.32) + 1.30 > \log\left(\frac{[\text{O III}]}{\text{H}\beta}\right) \quad (3.13)$$

3.4. Cálculo práctico de T_e

La temperatura electrónica del gas ionizado forma parte de los principales parámetros en una región H II, y es crucial a la hora de determinar abundancias químicas mediante las líneas de excitación colisional. Lo más extendido es usar las líneas de $[\text{O III}]$ para obtener la temperatura electrónica. Así, para este ión:

$$\frac{I(\lambda 4959) + I(\lambda 5007)}{I(\lambda 4363)} = \frac{8.32 \exp\left(\frac{3.29 \times 10^4}{T_e}\right)}{1 + 4.5 \times 10^{-4} \frac{n_e}{T_e^{1/2}}} \quad (3.14)$$

Para las densidades y temperaturas típicas en regiones H II ($n_e \sim 100 \text{ cm}^{-3}$, $T_e \sim 10000 \text{ K}$), se simplifica la relación, ya que el denominador puede despreciarse, de manera que la temperatura electrónica puede calcularse como:

$$T_e \simeq 3.29 \times 10^4 \times \ln^{-1} \frac{I(\lambda 4959) + I(\lambda 5007)}{I(\lambda 4363)} \quad (3.15)$$

Si atendemos al esquema representado en la Figura 3.1, se define $T_e([\text{O III}])$ como la temperatura electrónica de alta ionización, al encontrarse este ion en la región interna de la nebulosa. Se pueden emplear otros iones, como por ejemplo $[\text{N II}]$, $[\text{S II}]$ y $[\text{O II}]$, para determinar la temperatura electrónica de baja excitación. Como en la mayoría de casos al analizar regiones H II extragalácticas se suele detectar la línea de emisión auroral $[\text{O III}] \lambda 4363$, se hace necesario el uso de una relación entre $T_e([\text{O III}])$ y $T_e([\text{O II}])$. Basada en modelos de fotoionización tenemos la expresión:

$$t([\text{O II}]) = \frac{2}{t([\text{O III}])^{-1} + 0.8}, \quad (3.16)$$

donde $t = T_e/10^4$ (Stasińska, 1990).

Otra relación muy extendida en la literatura es la de Garnett (1992):

$$T_e([\text{O II}]) = 0.7 \times T_e([\text{O III}]) + 3000, \quad (3.17)$$

que es la que se utiliza en la calibración empírica de Pilyugin (2001). Sin embargo, existen dos limitaciones a la utilización de cocientes entre líneas nebulares/aurales para la obtención de T_e :

1. La existencia de fluctuaciones de temperatura dentro de la región H II, lo que desembocaría en una sobreestimación de T_e , y por ende, en una subestimación de las abundancias.
2. La desaparición de las líneas aurales. Estas líneas poseen intensidades de entre $\sim 1 - 5\%$ de las líneas nebulares brillantes, de modo que su detección en los espectros es mucho más difícil. Además, la emisividad de estas líneas disminuye al descender T_e (o lo que es lo mismo, al aumentar la metalicidad), siendo prácticamente inobservables cuando $T_e \leq 7500 \text{ K}$. Para superar este inconveniente, se han desarrollado los métodos empíricos, que serán descritos en la sección 3.6.2.

3.5. Determinación práctica de n_e

También se puede calcular la densidad electrónica del gas ionizado a partir de cocientes entre distintas líneas de emisión. La densidad es una función monótona del cociente de intensidades, que depende débilmente de

T_e . Castañeda et al. (1992) proporcionan una fórmula analítica entre n_e y el cociente $[\text{S II}] \lambda 6716 / \lambda 6731$,

$$\frac{I(\lambda 6717)}{I(\lambda 6731)} = 1.45 \frac{1 + 4.18x}{1 + 13.42x}, \quad (3.18)$$

donde $x = 10^{-6} n_e T_e^{1/2}$. Para convertir los cocientes de líneas en temperaturas o densidades, se necesita conocer las separaciones de energía, sus pesos estadísticos, y los ritmos de excitación y desexcitación radiativos y colisionales. El paquete NEBULAR de IRAF cuenta con toda esta información, de manera que puede calcularse de manera automática.

3.6. Determinación de abundancias elementales

Las abundancias químicas de los iones presentes en las regiones H II se pueden determinar a partir de las intensidades de emisión. En general, se define la abundancia química de un ión X^{+i} como:

$$\frac{n(\text{X}^{+i})}{n(\text{H}^+)} = \frac{\text{X}^{+i}}{\text{H}^+} \quad (3.19)$$

Las intensidades de las líneas, y por ende, las abundancias, dependen básicamente de dos parámetros, que son la temperatura y la densidad electrónicas. Si se asume un esquema de dos zonas, como el explicado en la sección 3.2, tomando $T_e([\text{O III}])$ para iones de alto potencial de ionización como O^{++} , Ne^{++} o S^{++} ; y $T_e([\text{O II}])$ para iones de bajo potencial de ionización como O^+ , N^+ , S^+ o Fe^+ , se define la abundancia total como la suma de todas las abundancias iónicas involucrando a ese elemento,

$$\frac{N(\text{X})}{N(\text{H})} = \sum_{i=0}^m \frac{N(\text{X}^{+i})}{N(\text{H}^+)}. \quad (3.20)$$

Las abundancias químicas se expresan en unidades logarítmicas, de manera que

$$\text{Abundancia} = 12 + \log \frac{\text{X}}{\text{H}} \quad (3.21)$$

donde X y H son las abundancias en número de átomos, como se explica más arriba.

A lo largo de esta tesis, para simplificar, se tomará que $\text{XH} = 12 + \log \frac{\text{X}}{\text{H}}$, y en particular, para el caso del oxígeno:

$$\text{OH} = 12 + \log \frac{\text{O}}{\text{H}} \quad (3.22)$$

Es útil también a veces, expresar el cociente de algunos elementos con respecto al oxígeno, o abundancias relativas, como por ejemplo N/O o S/O , en unidades logarítmicas, igual que las abundancias elementales.

En el capítulo 4, se explica con detenimiento la necesidad de corregir las líneas de emisión por enrojecimiento, puesto que es un paso clave para la determinación de las abundancias. De este modo, una vez determinadas las intensidades de las líneas de emisión, se puede proceder al cálculo de las abundancias químicas del gas ionizado.

3.6.1. Método directo

Las abundancias iónicas obtenidas a partir de las líneas de recombinación (He^+/H^+) tienen muy poca dependencia con la temperatura, pero aquellas que se originan mediante la excitación colisional (por ejemplo O^{++}/H^+ , sí que son fuertemente dependientes de la T_e), de manera que sus incertidumbres estarán condicionadas por la incertidumbre en T_e . A partir esta estimación directa de la temperatura electrónica, se calculan las abundancias químicas con el denominado método directo.

El oxígeno se suele presentar en las regiones H II únicamente mediante [O II] y [O III] (es decir, oxígeno una vez, O^+ , y dos veces ionizado, O^{++} , respectivamente). Estas líneas son, junto con $\text{H}\alpha$ y $\text{H}\beta$, las más brillantes en todo el espectro. De modo que se puede asumir

$$\frac{N(\text{O})}{N(\text{H})} = \frac{N(\text{O}^+)}{N(\text{H}^+)} + \frac{N(\text{O}^{++})}{N(\text{H}^+)} \quad (3.23)$$

ya que no se hace necesaria la consideración de oxígeno neutro. El oxígeno neutro se localiza prácticamente en su totalidad fuera de la nebulosa. Por otra parte, si el gas está muy excitado, la contribución de O^{3+} no será despreciable, y habrán de medirse las líneas de [O IV] (caso típico en las nebulosas planetarias). No es el caso de las regiones y galaxias analizadas en esta tesis, para las cuales, la contribución de [O IV] puede considerarse nula.

Desafortunadamente, no suele ser habitual que en regiones H II extragalácticas las líneas aurales responsables de la determinación de T_e sean lo suficientemente intensas como para detectarlas, llegando a no existir en regiones de alta metalicidad, por lo que debe recurrirse a métodos empíricos a la hora de determinar las abundancias químicas.

3.6.2. Calibraciones empíricas

Cuando en el espectro de una región H II no se detecta la línea de emisión [O III] $\lambda 4363$ o cualquier otra línea auroral que permita el cálculo de la T_e , hay que recurrir a las calibraciones empíricas para obtener una estimación de la metalicidad de estos objetos. Las calibraciones empíricas están basadas en modelos de fotoionización y en observaciones de regiones H II en las que se ha podido medir la línea auroral [O III] $\lambda 4363$ de manera que se pueden hacer correlaciones entre las abundancias de oxígeno y los cocientes de las líneas fuertes. Como las líneas metálicas más brillantes en los espectros de las

regiones H II son las del oxígeno, ha sido este elemento el que se ha utilizado como principal trazador de la metalicidad en las calibraciones empíricas. La abundancia de oxígeno es una de las propiedades fundamentales de las galaxias. Los parámetros definidos en las calibraciones empíricas obtenidos a partir de intensidades de líneas de oxígeno son:

$$R_3 = \frac{I([\text{O III}])\lambda 4959 + I([\text{O II}])\lambda 5007}{H\beta}, \quad (3.24)$$

$$R_2 = \frac{I([\text{O II}])\lambda \lambda 3726, 29}{H\beta}, \quad (3.25)$$

$$R_{23} = R_3 + R_2, \quad (3.26)$$

$$P = \frac{R_3}{R_{23}}, \quad (3.27)$$

$$y = \log \frac{R_3}{R_2} = \frac{1}{P^{-1} - 1}, \quad (3.28)$$

$$N2 = \log \frac{I([\text{N II}])\lambda 6584}{H\alpha}, \quad (3.29)$$

$$O3N2 = \log \frac{I([\text{O III}])\lambda 5007/H\beta}{I([\text{N II}])\lambda 6584/H\alpha}, \quad (3.30)$$

$$O2N2 = \log \frac{I([\text{N II}])\lambda 6584}{I([\text{O II}])\lambda \lambda 3726, 29} \quad (3.31)$$

El principal problema de las calibraciones más antiguas que usaban R_{23} es que este parámetro está bivaluado (ver Figura 3.3), esto es, un único valor de R_{23} puede deberse a dos metalicidades muy distintas. Esto ocurre porque la intensidad de las líneas de oxígeno no aumenta para siempre con la metalicidad. Por tanto, hay dos ramas para cada calibración: la rama de baja metalicidad, con $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \leq 8.1$, y la rama de alta metalicidad, con $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.4$. De manera que hay una imprecisión alrededor de la región $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \simeq 8.2$, donde se concentra una gran fracción de regiones de formación estelar con el mismo valor de R_{23} y abundancias de oxígenos diferentes en al menos un orden de magnitud. Así, se necesita información adicional, como por ejemplo la que proporcionan los cocientes $[\text{N II}]/H\alpha$ o $[\text{O II}]/[\text{O III}]$, para resolver la degeneración existente entre las ramas de alta y baja metalicidad. Además, R_{23} requiere una corrección precisa del efecto de enrojecimiento, puesto que $[\text{O II}]$ y $[\text{O III}]$ tienen una distancia considerable en longitud de onda.

Se detallan ahora algunas de estas calibraciones empíricas que usan R_{23} :

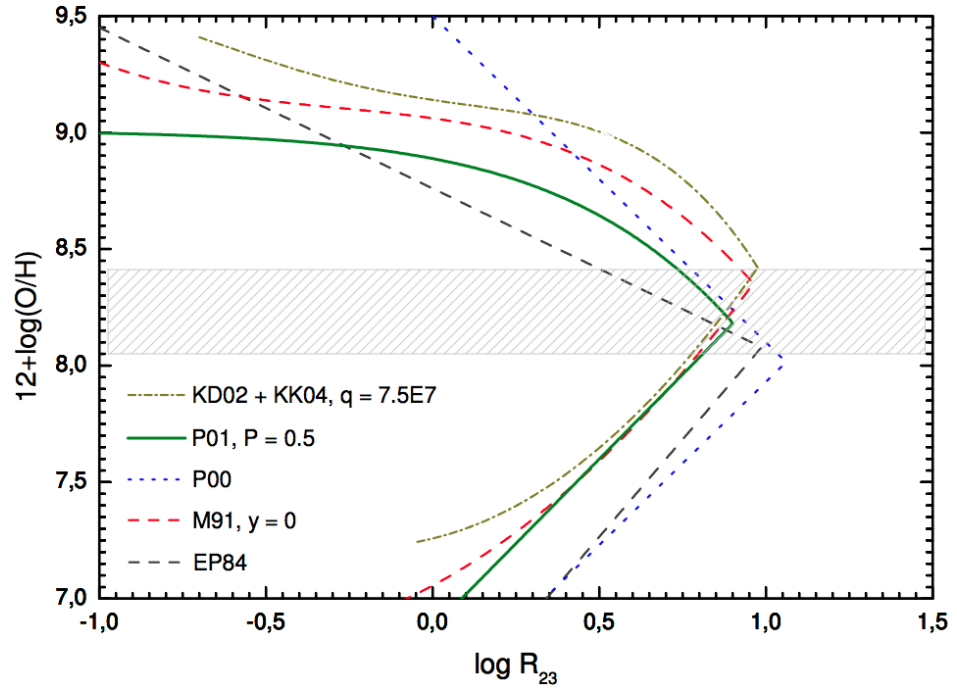


Figura 3.3 Calibraciones empíricas para la abundancia de oxígeno utilizando el parámetro R_{23} . La región sombreada es la zona con mayor incertidumbre en OH. Las calibraciones empíricas mostradas son: EP94: Edmunds y Pagel (1984); M91: McGaugh (1991) utilizando $y = 0$ ($R_2 = R_3$); P00: Pilyugin (2000); P01: Pilyugin (2001) utilizando $P = 0.5$ ($R_2 = R_3$); KD02+KK04: Kewley y Dopita (2002) usando la formulación de Kobulnicky y Kewley (2004) y suponiendo que $q = 7.5 \times 10^7 \text{ cm s}^{-1}$.

1. Pilyugin (2001) proporciona la siguiente calibración considerando tanto el parámetro R_{23} como el parámetro de excitación P :

$$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{up} = \frac{R_{23} + 54.2 + 59.45P + 7.31P^2}{6.01 + 6.71P + 0.371P^2 + 0.243R_{23}} \quad (3.32)$$

Este es el llamado método P , que puede ser utilizado para regiones H II con metalicidades altas $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.3$. Pilyugin utilizó modelos de regiones H II de dos zonas asumiendo la relación de temperaturas $T_e([\text{O II}]) - T_e([\text{O III}])$ de Garnett (1992). Para la rama de baja metalicidad, Pilyugin (2001) encontró que:

$$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{low} = 6.35 + 1.45 \log R_{23} - 1.74 \log P. \quad (3.33)$$

Pilyugin estima que la incertidumbre en la determinación de la abundancia de oxígeno con este método es de 0.1 dex aproximadamente.

2. Pilyugin y Thuan (2005) volvieron sobre las calibraciones de Pilyugin (2001) incluyendo más medidas espectroscópicas de regiones H II en galaxias espirales e irregulares, disponiendo de intensidades de la línea auroral $[\text{O III}] \lambda 4363$ y recalibrando la relación entre la abundancia de oxígeno y los parámetros R_{23} y P , resultando en:

$$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{low} = \frac{R_{23} + 106.4 + 106.8P - 3.40P^2}{17.72 + 6.60P + 6.95P^2 - 0.302R_{23}} \quad (3.34)$$

$$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{up} = \frac{R_{23} + 726.1 + 842.2P + 337.5P^2}{85.96 + 82.76P + 43.98P^2 + 1.793R_{23}} \quad (3.35)$$

3. Kewley y Dopita (2002) usaron una combinación de síntesis de poblaciones estelares y modelos de fotoionización para desarrollar un conjunto de parámetros de ionización y diagnósticos de abundancia basados únicamente en las líneas de emisión más intensas. Su método *óptimo* utiliza cocientes de $[\text{N II}]$, $[\text{O II}]$, $[\text{O III}]$, $[\text{S II}]$, $[\text{S III}]$ y líneas de Balmer.
4. Kobulnicky y Kewley (2004) usan un método que utiliza los modelos de Kewley y Dopita (2002) mediante un sistema iterativo que resuelve tanto el parámetro de ionización q como la abundancia de oxígeno, considerando únicamente las líneas de $[\text{O III}]$, $[\text{O II}]$ y $\text{H}\beta$. La parametrización que dan para q es:

$$\log(q) = \frac{32.81 - 1.153y^2 + [12 + \log(\text{O}/\text{H})][-3.396 - 0.025y + 0.1444y^2]}{4.603 - 0.3119y - 0.163y^2 + [12 + \log(\text{O}/\text{H})][-0.48 + 0.0271y + 0.02037y^2]}, \quad (3.36)$$

donde $y = \log([O\text{ III}]/[O\text{ II}])$. Esta ecuación es válida únicamente para parámetros de ionización entre 5×10^6 y $1.5 \times 10^8 \text{ cm s}^{-1}$. La abundancia de oxígeno viene dada por

$$12 + \log(O/H)_{low} = 9.40 + 4.65x - 3.17x^2 - \log q(0.272 + 0.547x - 0.513x^2), \quad (3.37)$$

$$12 + \log(O/H)_{up} = 9.72 - 0.777x - 0.951x^2 - 0.072x^3 - 0.811x^4 \\ - \log q \times (0.0737 - 0.0713x - 0.141x^2 + 0.0373x^3 - 0.058x^4) \quad (3.38)$$

donde $x = R_{23}$. La primera ecuación es válida si $12 + \log(O/H) \leq 8.4$, mientras que la segunda lo es siempre que $12 + \log(O/H) \geq 8.4$. Normalmente, el procedimiento requiere de dos o tres iteraciones para alcanzar la convergencia.

Además del parámetro R_{23} , se pueden utilizar otros parámetros para el cálculo de la metalicidad en regiones H II como el parámetro $N2$ o el $O3N2$ ². Fueron Storchi-Bergmann et al. (1994) quienes sugirieron el parámetro $N2$ por primera vez, proporcionando una calibración tentativa utilizándolo. Esta calibración ha sido revisada en multitud de ocasiones: Denicoló et al. (2002); Pettini y Pagel (2004); Nagao et al. (2006). Denicoló et al. (2002) mejoró considerablemente la calibración original incluyendo datos de una muestra considerable de regiones H II extragalácticas cercanas. La incertidumbre para este método es de 0.2 dex debido la sensibilidad de $N2$ a la ionización y a las variaciones de N/O.

1. Pettini y Pagel (2004) revisaron la relación entre $N2$ y la abundancia de oxígeno incluyendo más datos para las zonas de alta y baja metalicidad. Sólo consideraron regiones H II extragalácticas para las cuales se hubiera determinado la abundancia de oxígeno de manera directa vía T_e o mediante modelos de fotoionización. El ajuste lineal a estos datos es

$$12 + \log(O/H) = 8.90 + 0.57N2. \quad (3.39)$$

2. Pettini y Pagel (2004) revisaron el parámetro $O3N2$, introducido previamente por Alloin et al. (1979). Obtuvieron este ajuste lineal

$$12 + \log(O/H) = 8.73 - 0.32O3N2. \quad (3.40)$$

3. Más recientemente, Marino et al. (2013), revisaron estas calibraciones dadas por Pettini y Pagel (2004) con los parámetros $N2$ y $O3N2$

²Sin embargo, hay que notar que el cociente $[N\text{ II}]/H\alpha$ da la excitación por choques o a los campos de radiación de un AGN

mediante la inclusión de 603 regiones H II obtenidas de la literatura, y a las cuales se les ha podido determinar la abundancia de oxígeno por el método directo (T_e), más regiones H II observadas por CALIFA³ (Sánchez et al., 2012). Las calibraciones que proporciona Marino et al. (2013) son:

$$12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8.533[\pm 0.012] - 0.214[\pm 0.012] \times O3N2 \quad (3.41)$$

$$12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8.743[\pm 0.027] + 0.462[\pm 0.024] \times N2 \quad (3.42)$$

³<http://califa.caha.es/>

Capítulo 4

Espectroscopía con el William Herschel Telescope

En este Capítulo se describirán, en primer lugar, las observaciones astronómicas de 28 galaxias del Universo local, que se han realizado utilizando el 4.2m William Herschel Telescope (WHT) situado en el Observatorio de El Roque de los Muchachos, emplazado en la isla de La Palma. Después se expondrán los métodos utilizados para la reducción y el posterior análisis de los datos obtenidos.

4.1. William Herschel Telescope

El telescopio William Herschel está localizado en la isla de La Palma a una latitud de $28^{\circ}45'38.3''$ N, y una longitud de $17^{\circ}52'53.9''$ O, situado a una altura de 2332 metros sobre el nivel del mar. La Figura 4.1, muestra imágenes del WHT y sus alrededores. El telescopio vio su primera luz el 1 de junio de 1987. Operado por el *Isaac Newton Group of Telescopes* (ING), tiene el 20 % del tiempo de observación reservado para instituciones españolas (CAT), mientras que el otro 80 % se reparte principalmente entre instituciones holandesas (PC) y del Reino Unido (PATT). Las propuestas están programadas en dos periodos al año, el primero del 1 de febrero al 31 de julio, y el segundo del 1 de agosto al 31 de enero. La ciencia que se realiza con los datos observaciones del WHT es muy variada. Las propuestas de observación van desde el estudio de los planetas y de otros cuerpos menores del sistema solar hasta estudios de interés cosmológico.

El WHT es un telescopio reflector con montura altazimutal con una configuración óptica Cassegrain clásica, compuesto por un espejo primario paraboloide cóncavo de cristal cerámico de 4.2 metros de diámetro y una distancia focal de 10.5 metros ($f/2.5$), y un espejo secundario paraboloide convexo hecho de Zedour, de un metro de diámetro, que, cuando el telescopio no opera



Figura 4.1 Alrededores del WHT en El Roque de los Muchachos.

en el foco primario, dirige la luz a través del hueco central del espejo primario hacia la instrumentación principal situada en el foco Cassegrain. La relación focal final del telescopio en los focos Cassegrain y Nasmyth es 46.2 m ($f/11$), y el campo de visión libre de viñeteos (FoV, del inglés *Field of view*) es de 15 minutos de arco en el foco Cassegrain y de 5 minutos de arco en el Nasmyth. La calidad óptica del telescopio se asegura gracias a un sistema de óptica adaptativa (AO, del inglés *Adaptive Optics*), que realiza a tiempo real correcciones que compensan las deformaciones sufridas en el espejo primario, y las posiciones de los espejos secundario y terciario.

En la Figura 4.2 se puede ver un dibujo esquemático de la marcha de rayos en el WHT. El telescopio y su montura, cuyo centro de rotación se encuentra a 13.4 m sobre el suelo, se encuentran en el interior de una cúpula de 21 m de diámetro con un par de compuertas que se deslizan para abrirse y que permiten al telescopio observar desde 12° sobre el horizonte. La cúpula gira sobre un raíl construido sobre una estructura cilíndrica de concreto. Anexo a este edificio se encuentra el que da cabida a la sala de control, salas oscuras, la planta de aluminizaje de los espejos, oficinas y demás servicios. Debido a que no se necesita apenas presencia física en el interior de la cúpula, hay una pequeñísima perturbación térmica en el aire alrededor del telescopio, lo que aumentad la probabilidad de alcanzar un ‘seeing de cúpula’ perfecto. El ‘seeing’ medio en el WHT es de unos 0.7”.

El WHT está equipado con una serie de instrumentación disponible para el astrónomo, ofreciendo una amplia variedad de modos de observación, cubriendo el rango óptico y el infrarrojo cercano, abarcando desde fotometría de banda ancha hasta espectroscopía de alta resolución, si bien no todos se

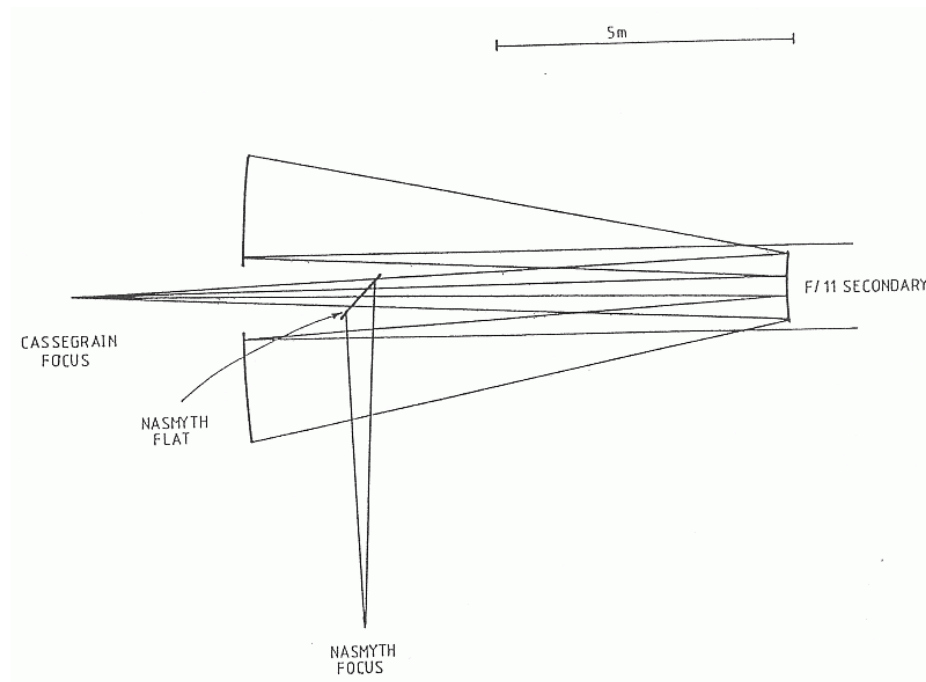


Figura 4.2 Esquema del WHT.

encuentran permanentemente instalados:

- *Auxiliary port-Camera (ACAM)*, montada permanente en el foco folded-Cassegrain, se puede utilizar para imagen en banda ancha, banda estrecha y espectroscopía de baja resolución. Tiene un campo de visión de 8 minutos de arco para el modo imagen, y cubre el rango espectral del óptico (3500 - 9400 Å).
- *Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System (ISIS)*: es un espectrógrafo de rendija larga, montado en el foco Cassegrain del telescopio. Posee dos brazos para cubrir rangos de longitud de onda diferentes, en media resolución (8 – 121 Å/mm).
- *Long-Slit Intermediate Resolution Infrared Spectrograph (LIRIS)*, es un instrumento para fotometría y espectroscopía en el infrarrojo cercano instalado en el foco Cassegrain. Posee un campo de visión de $4.27' \times 4.27'$.
- *Wide Field Fibre Optical Spectrograph (WYFFOS)*, es un espectrógrafo de fibras multiobjeto de campo ancho, que se sitúa en el foco primario. Contiene 150 fibras de 1.6" de diámetro.

En la siguiente sección se explica en detalle el instrumento ISIS, pues

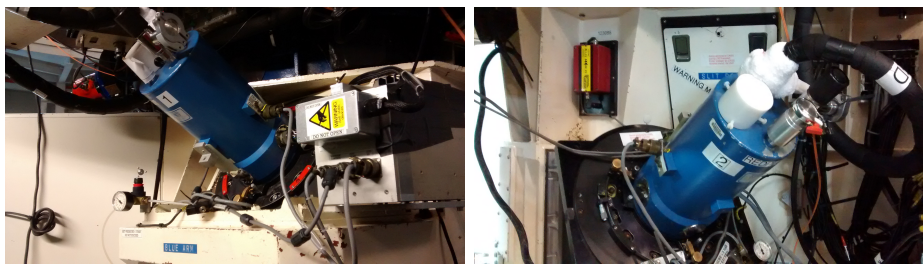


Figura 4.3 Detalles de los brazos azul y rojo del espectrógrafo ISIS montado en el 4.2m WHT.

éste ha sido el empleado para las labores de observación en las que esta tesis se basa.

4.1.1. Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System (ISIS)

El *Intermediate dispersion Spectrograph and Imaging System* (ISIS) es un espectrógrafo de rendija larga y resolución intermedia ($8 - 121 \text{ \AA/mm}$) colocado en el foco Cassegrain del WHT. Consta de dos brazos, uno azul y otro rojo, que mediante el uso de dicroicos, pueden usarse de manera simultánea. En la Figura 4.3 se puede ver el instrumento acoplado al telescopio, y en detalle el brazo azul. Es capaz de operar con una rendija de hasta $4'$ de largo y aproximadamente $22''$ de anchura máxima.

En el brazo azul, la CCD por defecto es una tipo EEV12, de 4096×2048 ($13.5 \text{ }\mu\text{m}$) píxeles. La región libre de viñeteos va desde el píxel 665 hasta el 3485, es decir, abarca una región central de 2820 píxeles. Esta CCD ofrece una resolución espacial de 0.2 arcsec/píxel . Para el brazo rojo, se tiene una REDPLUS, de 4096×2048 ($15.0 \text{ }\mu\text{m}$) píxeles. Para esta cámara, la región libre de viñeteo va desde el píxel 800 hasta el 3200, lo que supone una región central de 2400 píxeles. El tamaño de píxel para esta REDPLUS es de $15.0 \text{ }\mu\text{m}$, lo que la dota de una resolución espacial de $0.22 \text{ arcsec/píxel}$. Nótese que la resolución espacial para cada brazo es diferente, hecho que habrá que tenerse en cuenta a la hora de la extracción de espectros a partir de las imágenes de ciencias obtenidas con el telescopio.

El rango y la resolución espectrales vendrán dados por el grisma que se emplee en cada brazo. ISIS dispone de los grismas R158B, R300B, R600B, R1200B y H2400B para el brazo azul; y R158R, R316R, R600R y R1200R para el brazo rojo (en ambos brazos, los grismas están ordenados de menor a mayor resolución. Para este trabajo, se hizo uso de los grismas R600B y R600R, cuyas características pueden apreciarse en la Tabla 4.1.

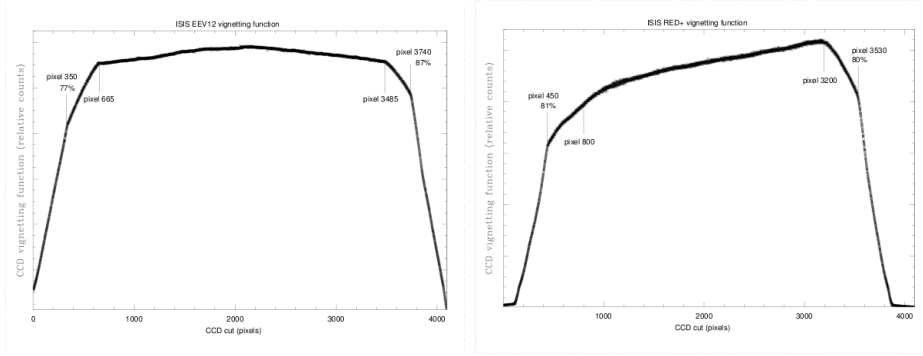


Figura 4.4 Respuesta de las CCDs y región de viñeteo para los brazos azul y rojo de ISIS.

Tabla 4.1 Instrumentación utilizada para la observación de las galaxias de esta tesis en el WHT, usando ISIS.

Grisma	Brazo	Blaze	Dispersión [Å/ mm]	Dispersión [Å/ pix]	Rango espectral [Å]
R600B	Azul	3900	33	0.45	1825
R600R	Rojo	7000	33	0.49	2054

4.2. Observaciones en el WHT

La obtención de los espectros de resolución intermedia correspondientes a la muestra de galaxias locales se realizó en el WHT durante dos campañas de observación entre 2011¹ y 2014².

4.2.1. Definición de la muestra

La muestra de galaxias está escogida de Neill et al. (2009), que recoge una muestra mayor local de galaxias que albergan SNe Ia. De esta lista de 168 galaxias, se han seleccionado aquellas que no están en el flujo de Hubble ($z \leq 0.02$). Además, por razones obvias, habían de ser observables desde el Observatorio del Roque de los Muchachos, y debían tener medidas de distancia precisas con métodos independientes a los basados en SNe Ia.

El punto clave de esta selección es precisamente el hecho de que las distancias a estas galaxias se conocen bien, y sus medidas son independientes a cualquier asunción de magnitud fija por parte de las SNe Ia. De este modo, la muestra final consta de 28 galaxias, listadas en la Tabla 4.2.

Se ha realizado una búsqueda exhaustiva en la NASA Extragalactic Da-

¹Observadores: Manuel E. Moreno-Raya, Ángel R. López-Sánchez y Aurelio Carnero.

²Observadores: Manuel E. Moreno-Raya y Lluís Galbany.

tabase (NED³), y se ha adoptado una distancia para galaxia acorde a la siguientes restricciones:

- Tener tantas medidas como sea posible, incluyendo Tully-Fisher, Cefeidas, Función de Luminosidad, etc.
- Si una medida no concuerda con el resto de manera significativa, por ejemplo, se trata de una medida muy antigua (de principios de los 70, de los 80...), que ha sido mejorada más recientemente, no se tiene en cuenta.
- Cuando es posible, se promedian los valores de indicadores diferentes.

La distancia final para cada galaxia viene dada, pues, por el promedio de todas las medidas consideradas, dentro de su variación estándar.

Para comprobar que las medidas dadas por indicadores diferentes son consistentes, se ha comprobado que son equivalentes. En la Figura 4.5 puede verse, para las 10 galaxias que disponen de distancias provenientes de Tully-Fisher y de Cefeidas, que ambas dan resultados equivalentes. De esta manera se asegura la inexistencia de un posible sesgo debido al indicador de distancia elegido.

³<http://ned.ipac.caltech.edu>

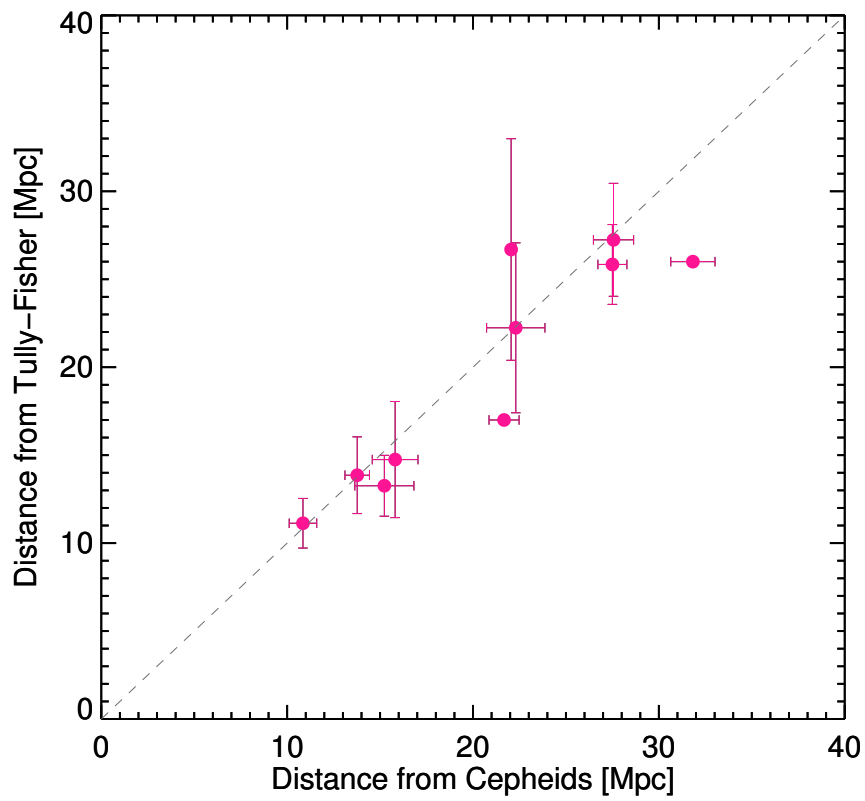


Figura 4.5 Comparación de distancias obtenidas por medio de dos métodos (Tully-Fisher y Cefeidas) para una submuestra de galaxias. La línea discontinua gris muestra la identidad. Cuando una galaxia dispone de mediciones de estos dos métodos, se promedian todos ellos, al ser equivalentes y no existir una diferencia entre ellas.

Tabla 4.2 Galaxias observadas en el 4.2m WHT, ordenadas por Ascensión Recta (RA). M_B y z son la magnitud de la galaxia y el *redshift*, respectivamente. PA es la inclinación del eje paraláctico, mientras que b/a es la relación entre los semiejes mayor y menor de cada galaxia anfitrión. Se muestran también las supernovas localizadas, con su offset respecto al centro galáctico, y la distancia, en segundos de arco, entre la localización de la SN y el centro galáctico.

Galaxia	Morfología	RA	DEC	M_B	z	PA [deg]	b/a	SN Ia	RA offset [arcsec]	DEC offset [arcsec]	Distancia [arcsec]
M 82	I0	09 ^h 55 ^m 52.7 ^s	+69°40′46″	-20.13	0.000677	155	0.37	2014J	-54.0	-21.0	57.9
MCG-02-16-02	Sb?	06 ^h 04 ^m 34.9 ^s	-12°37′29″	-19.86	0.007388	15	0.19	2003kf	+9.2	-14.3	17.0
NGC 0105	Sab:	06 ^h 25 ^m 16.6 ^s	+12°53′22″	-20.98	0.017646	77	0.64	1997cw	+7.6	+4.2	8.7
NGC 1275	S0	03 ^h 19 ^m 48.1 ^s	+41°30′42″	-22.65	0.017559	20	0.64	2005mz	+19.2	-23.6	30.4
NGC 1309	Sbc:	03 ^h 22 ^m 06.5 ^s	-15°24′00″	-20.57	0.007125	135	0.93	2002fk	-12.0	-3.5	12.5
NGC 2935	SBb	09 ^h 36 ^m 44.8 ^s	-21°07′41″	-20.69	0.007575	90	0.73	1996Z	+0.0	-70.0	70.0
NGC 3021	Sbc	09 ^h 50 ^m 57.1 ^s	+33°33′13″	-19.86	0.005140	20	0.56	1995al	-15.0	+2.9	15.3
NGC 3147	Sbc	10 ^h 16 ^m 53.6 ^s	+73°24′03″	-22.22	0.009346	65	0.86	1997bq	+50.0	-60.0	78.1
NGC 3169	Sa	10 ^h 14 ^m 15.0 ^s	+03°27′58″	-20.42	0.004130	135	0.50	2003cg	+14.0	+5.0	14.9
NGC 3368	Sab	10 ^h 46 ^m 45.7 ^s	+11°49′12″	-20.96	0.002992	95	0.69	1998bu	+4.3	+55.3	55.5
NGC 3370	Sc	10 ^h 47 ^m 04.0 ^s	+17°16′25″	-19.77	0.004266	58	0.56	1994ae	-30.3	+6.1	30.9
NGC 3672	Sc	11 ^h 25 ^m 02.5 ^s	-09°47′43″	-20.63	0.006211	98	0.47	2007bm	-2.4	-10.8	11.1
NGC 3982	Sb:	11 ^h 56 ^m 28.1 ^s	+55°07′31″	-19.91	0.003699	90	0.87	1998aq	-18.0	+7.0	19.3
NGC 4321	SBbc	12 ^h 22 ^m 54.8 ^s	+15°49′19″	-22.13	0.005240	120	0.81	2006X	-12.0	-48.0	49.5
NGC 4501	Sb	12 ^h 31 ^m 59.1 ^s	+14°25′13″	-23.13	0.007609	50	0.53	1999cl	-46.0	+23.0	51.4
NGC 4527	SBbc	12 ^h 34 ^m 08.4 ^s	+02°39′13″	-21.55	0.005791	157	0.33	1991T	+26.0	+45.0	52.0
NGC 4536	SBbc	12 ^h 34 ^m 27.0 ^s	+02°11′17″	-21.85	0.006031	40	0.39	1981B	+41.0	+41.0	58.0
NGC 4639	SBbc	12 ^h 42 ^m 52.4 ^s	+13°15′27″	-19.24	0.003395	33	0.66	1990N	+63.2	-1.8	63.2
NGC 5005	Sbc	13 ^h 10 ^m 56.2 ^s	+37°03′33″	-21.48	0.003156	155	0.48	1996ai	+24.0	+4.0	24.3
NGC 5468	Scd	14 ^h 06 ^m 34.9 ^s	-05°27′11″	-20.33	0.009480	15	0.91	1999cp	-52.0	+23.0	56.9
NGC 5584	Scd	14 ^h 22 ^m 23.8 ^s	-00°23′16″	-19.69	0.005464	50	0.72	2007af	-40.0	-22.0	45.7
UGC 00272	Sd	00 ^h 27 ^m 49.7 ^s	-01°12′00″	-19.42	0.012993	40	0.42	2005hk	+17.2	+6.9	18.5
UGC 03218	Sb	05 ^h 00 ^m 43.7 ^s	+62°14′39″	-22.17	0.017432	55	0.37	2006le	-12.4	+40.1	42.0
UGC 03576	SBb	06 ^h 53 ^m 07.0 ^s	+50°02′03″	-20.98	0.019900	38	0.54	1998ec	-8.7	+19.5	21.4
UGC 03845	SBbc	07 ^h 26 ^m 42.7 ^s	+47°05′38″	-19.95	0.010120	86	0.67	1997do	-2.6	-3.8	4.6
UGC 04195	SBb	08 ^h 05 ^m 06.9 ^s	+66°46′59″	-20.71	0.016305	110	0.50	2000ce	+15.1	+17.3	23.0
UGC 09391	SBdm	14 ^h 34 ^m 37.0 ^s	+59°20′16″	-17.85	0.006384	110	0.59	2003du	-8.8	-13.5	16.1
UGCA 017	Scd:	01 ^h 26 ^m 14.4 ^s	-06°05′39″	-19.86	0.006535	111	0.16	1998dm	-13.8	-37.0	39.5

4.2.2. Configuración instrumental

Se observó durante un total de seis noches repartidas en dos campañas: 22 y 23 de diciembre de 2011, y 22 a 26 de enero de 2014. Para ambas se hizo uso del espectrógrafo ISIS anteriormente descrito, con un dichroico situado a 5400 Å para separar los dos haces de luz. La configuración instrumental en ambas campañas fue idéntica:

Brazo azul. Red de dispersión R600B, que proporciona una dispersión de 33 Å mm⁻¹. Se cubría el rango $\sim 3600 - 5100$ Å.

Brazo rojo. Red de dispersión R600R, que proporciona una dispersión de 33 Å mm⁻¹. Se cubría el rango $\sim 5500 - 6900$ Å.

En ambos casos la rendija cubría un tamaño de 3.7' de largo y de 1" de ancho. Se utilizaron lámparas de 'CuAr' (brazo azul) y 'CuAr+CuNe' (brazo rojo) para calibrar en longitud de onda los espectros, tomándose exposiciones para cada posición de la rendija. La calibración en flujo se consiguió al observar las estrellas espectrofotométricas H600, HD19945 y HD84937, las tres durante ambas campañas, pertenecientes a los catálogos de Oke y Gunn (1983) y Stone (1977). Para las observaciones realizadas en diciembre de 2011 se establecieron tres pares de longitud de onda centrales diferentes sobre las que centrar las redes de dispersión de los brazos azul y rojo. Esto se debe a que, al estar las galaxias de la muestra a *redshifts* diferentes, las líneas se desplazan al rojo cuanto más lejano se observe. En consecuencia, para aprovechar todo el rango útil (desde [O II] $\lambda\lambda 3726, 29$ hasta [S II] $\lambda\lambda 6716, 31$) se tuvieron que establecer tres configuraciones diferentes. En la Tabla 4.4 se muestran estos valores, así como los de las noches de enero de 2014, en los que únicamente fue necesaria una configuración en longitud de onda debido a la mayor homogeneidad en el corrimiento al rojo de la muestra.

Para cada objeto, se tomaron entre dos y cuatro exposiciones para conseguir, por un lado, una mayor relación señal ruido, y también para lograr una buena limpieza de rayos cósmicos. En la tabla 4.5 se puede ver en detalle el log de las las observaciones de la muestra de galaxias locales observadas con el WHT.

4.2.2.1. Posición y orientación de la rendija

La posición de la rendija se fijó para cada galaxia de manera independiente. Se procuró que pasara por el centro de cada galaxia, y orientada en una dirección tal que pudieran medirse el número máximo de regiones H II, identificándolas en la imagen de adquisición que ofrecía el telescopio. Esta orientación no tiene por qué coincidir con la posición de la SN Ia, ya que en ocasiones, la SN Ia se encuentra en una región en la que no hay formación

Tabla 4.3 Galaxias observadas en el 4.2m WHT, ordenadas por nombre, con información de la distancia, y de los métodos por lo cuales éstas han sido calculadas.

Galaxia	SN Ia	Indicador de distancia	Número de medidas	Distancia [Mpc]
M 82	2014J	PNLF	6	3.78 ± 0.67
MCG-02-16-02	2003kf	t-f	2	22.55 ± 0.75
NGC 0105	1997cw	SN Ia	6	64.20 ± 5.93
NGC 1275	2005mz	t-f	2	61.40 ± 7.50
NGC 1309	2002fk	c, t-f	5	29.28 ± 0.89
NGC 2935	1996Z	t-f	12	28.19 ± 3.20
NGC 3021	1995al	c, t-f	11	26.29 ± 1.87
NGC 3147	1997bq	t-f	1	40.90 ± 0.00
NGC 3169	2003cg	t-f	3	17.07 ± 2.93
NGC 3368	1998bu	c, t-f	27	10.95 ± 0.96
NGC 3370	1994ae	c, t-f	24	27.44 ± 1.88
NGC 3672	2007bm	t-f	3	22.80 ± 1.79
NGC 3982	1998aq	c, t-f	25	21.48 ± 0.78
NGC 4321	2006X	c, t-f	35	15.45 ± 1.94
NGC 4501	1999cl	t-f	12	20.68 ± 3.23
NGC 4527	1991T	c, t-f	21	13.81 ± 1.39
NGC 4536	1981B	c, t-f	53	14.79 ± 1.62
NGC 4639	1990N	c, t-f	44	22.29 ± 2.09
NGC 5005	1996ai	t-f	4	23.15 ± 2.08
NGC 5468	1999cp	t-f	1	41.50 ± 0.00
NGC 5584	2007af	c, t-f	10	24.30 ± 1.33
UGC 00272	2005hk	t-f	2	60.50 ± 3.70
UGC 03218	2006le	t-f	4	59.03 ± 6.00
UGC 03576	1998ec	t-f	5	87.36 ± 8.15
UGC 03845	1997do	t-f	1	38.50 ± 0.00
UGC 04195	2000ce	t-f	4	78.80 ± 2.23
UGC 09391	2003du	t-f	1	31.80 ± 0.00
UGCA 017	1998dm	t-f	13	26.26 ± 4.40

t-f: distancia a partir de Tully-Fisher; c, t-f: distancia promedio entre distancias determinadas por Tully-Fisher y Cefeidas; PNLf: distancia obtenida a partir de la función de luminosidad de nebulosa planetaria.

Tabla 4.4 Longitudes de onda centrales para las observaciones en el WHT. z_0 , z_1 y z_2 corresponden a diciembre de 2011. La última es la utilizada en enero de 2014.

Configuración	λ central [Å]	
	Brazo azul	Brazo rojo
z_0	4368	6720
z_1	4452	6950
z_2	4549	7023
z_{2014}	4438	6783

estelar. Se priorizó, pues, el tener regiones suficientes para poder determinar un gradiente de metalicidad consistente, asumiendo que existe un único gradiente en cualquier dirección radial de la galaxia. En la Figura 4.6 se muestra de manera esquemática la posición de la rendija para la galaxia NGC 3370. En rojo están resaltadas las regiones en las que se ha obtenido un espectro para la medición de líneas de emisión. La posición de la SN Ia viene fijada por el punto amarillo indicado. Una vez deproyectadas las distancias, y calculado el gradiente (ver Figura 5.14), la metalicidad asociada a la SN1994ae tomará un valor situado entre las metalicidades derivadas en las regiones B y C de la Figura 4.6.

4.3. Reducción y calibrado de los espectros de rendija larga

El resultado de una observación realizada con un telescopio equipado con un espectrógrafo es una imagen en dos dimensiones. Una corresponde a la dimensión espacial, mientras que la otra es espectral, y corresponde a las diferentes longitudes de onda que cubre el instrumento. Las imágenes en astrofísica han de ser tratadas y calibradas para su posterior análisis, debido a errores de la cámara CCD, al comportamiento del espectrógrafo, contribución atmosférica y demás efectos que se explican en esta sección. La Figura 4.7 muestra como ejemplo un espectro reducido y calibrado. Está dividido en dos. La parte izquierda corresponde al brazo azul, mientras que la derecha es la correspondiente al brazo rojo. Se señalan las principales especies. Se trata de un ejemplo típico de región H II de formación estelar.

Para ello, se ha realizado todo el proceso mediante el uso de IRAF⁴, un software específico para el tratamiento de imágenes en astrofísica. Este entorno está programado para trabajar con archivos con extensión ‘.fits’ (aunque

⁴Image Reduction Analysis Facility, distribuido por National Optical Astronomy Observatories (NOAO), operada por AURA Inc., bajo acuerdo cooperativo con NSF

Tabla 4.5 Galaxias observadas con el 4.2m WHT, indicando la morfología de cada una de ellas, así como las SNe Ia que albergan. La columna 4 muestra la fecha de observación. La columna 5 indica los tiempos de integración de cada observación. La resolución espacial, el grisma utilizado y el ángulo de la rendija se enumeran en las columnas 6, 7 y 8, respectivamente. Por último, la columna 9 refleja la masa de aire para cada observación.

Galaxia	Morfología	SN Ia	Fecha	Tiempo exp. [s]	Resol. espacial [pix ⁻¹]	Grisma	P.A. [°]	Masa de aire
M 82	I0	2014J	24-Ene-2014	3x600	0.20	R600B 248		1.699358
			24-Ene-2014	4x300	0.22	R600R 248		1.703212
MCG-02-16-02	Sb?	2003kf	24-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 290		1.415056
			24-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 290		1.414584
NGC 0105	Sab:	1997cw	26-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B -6		1.358633
			26-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R -6		1.433069
NGC 1275	S0	2005mz	26-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 62		1.196434
			26-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 62		1.196645
NGC 1309	Sbc:	2002fk	26-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 28		1.487035
			26-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 28		1.487479
NGC 2935	SBb	1996Z	25-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 329		1.753246
			25-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 329		1.689944
NGC 3021	Sbc	1995al	22-Dic-2011	2x1200	0.20	R600B 93		1.285784
			22-Dic-2011	2x1200	0.22	R600R 93		1.285847
NGC 3147	Sbc	1997bq	22-Dic-2011	2x1200	0.20	R600B 320		1.509696
			22-Dic-2011	2x1200	0.22	R600R 320		1.542244
NGC 3169	Sa	2003cg	23-Dic-2011	2x1200	0.20	R600B 172		1.262523
			23-Dic-2011	2x1200	0.22	R600R 172		1.295006
NGC 3368	Sab	1998bu	24-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 298		1.306252
			24-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 298		1.307326
NGC 3370	Sc	1994ae	22-Dic-2011	2x1800	0.20	R600B 330		1.160587
			22-Dic-2011	2x1800	0.22	R600R 330		1.125012
NGC 3672	Sc	2007bm	25-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 364		1.497680
			25-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 364		1.498453
NGC 3982	Sb:	1998aq	24-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 335		1.154017
			24-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 335		1.140907
NGC 4321	SBbc	2006X	22-Dic-2011	2x1800	0.20	R600B 340		1.134375
			22-Dic-2011	2x1800	0.22	R600R 340		1.171063
NGC 4501	Sb	1999cl	25-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 322		1.145303
			25-Ene-2014	3x1800	0.22	R600R 322		1.145677
NGC 4527	SBbc	1991T	24-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 64		1.266297
			24-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 64		1.317050
NGC 4536	SBbc	1981B	24-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 265		1.663660
			24-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 265		1.666170
NGC 4639	SBbc	1990N	24-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 335		1.060286
			24-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 335		1.077132
NGC 5005	Sbc	1996ai	22-Dic-2011	2x1200	0.20	R600B 250		1.080511
			22-Dic-2011	2x1200	0.22	R600R 250		1.096719
NGC 5468	Scd	1999cp	26-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 7		2.028415
			26-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 7		2.030882
NGC 5584	Scd	2007af	25-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 308		1.439699
			25-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 308		1.438900
UGC 00272	Sd	2005hk	22-Dic-2011	4x600	0.20	R600B 126		1.160984
			22-Dic-2011	4x600	0.22	R600R 126		1.158374
UGC 03218	Sb	2006le	25-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 142		1.200891
			25-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 142		1.200936
UGC 03576	SBb	1998ec	25-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 130		1.073760
			25-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 130		1.073590
UGC 03845	SBbc	1997do	26-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 214		1.055408
			26-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 214		1.055376
UGC 04195	SBb	2000ce	26-Ene-2014	2x1800	0.20	R600B 188		1.268553
			26-Ene-2014	2x1800	0.22	R600R 188		1.268342
UGC 09391	SBdm	2003du	23-Dic-2011	3x900	0.20	R600B 190		1.765348
			23-Dic-2011	3x900	0.22	R600R 190		1.810054
UGCA 017	Scd:	1998dm	23-Dic-2011	3x1200	0.20	R600B 202		1.584673
			23-Dic-2011	3x1200	0.22	R600R 202		1.529884

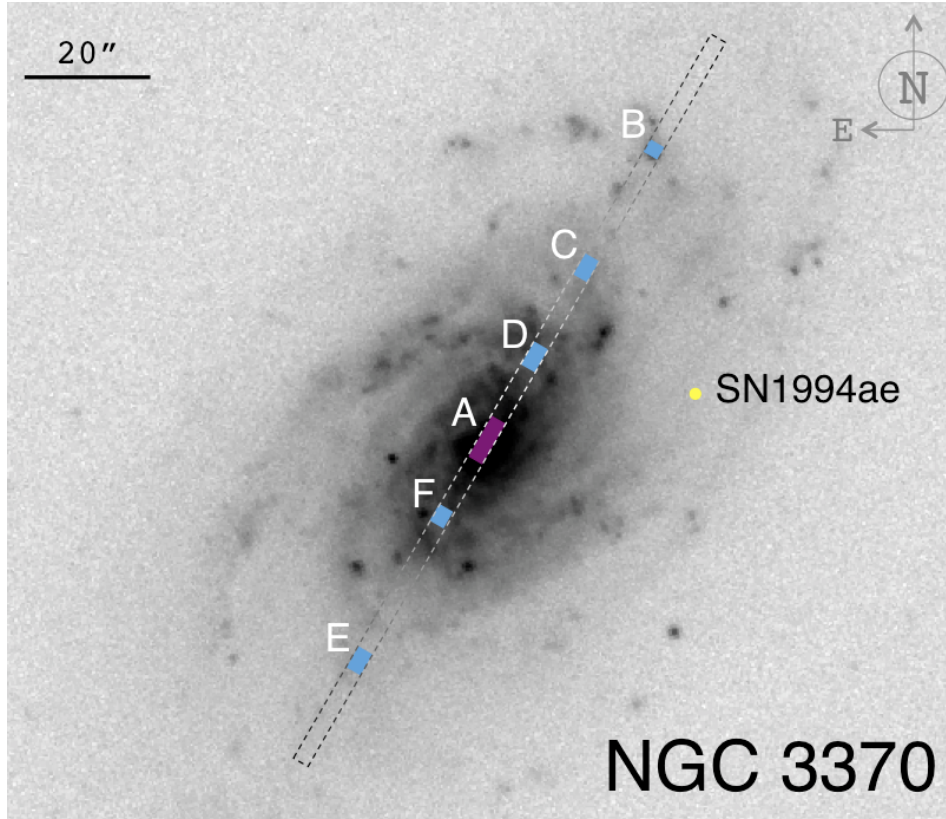


Figura 4.6 Esquema de la galaxia NGC 3370 con la supernova SN1994ae, cuya posición se marca con el círculo amarillo. Se superpone la rendija (imagen no escalada), y se marcan en azul las regiones para las cuales se ha extraído un espectro con líneas de emisión. La región violeta corresponde a un espectro con ausencia de líneas de emisión.

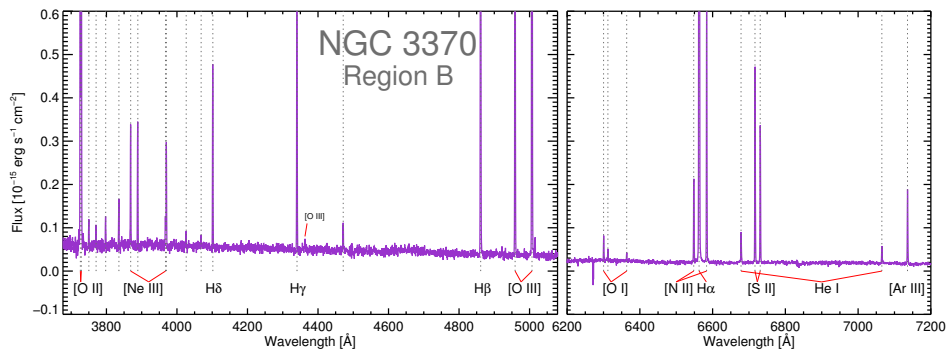


Figura 4.7 Espectro obtenido para la región B de NGC 3370 con el WHT.

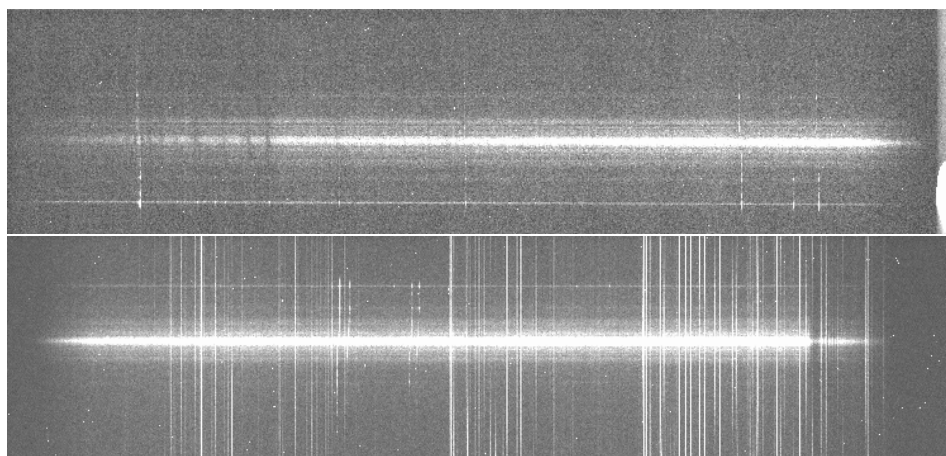


Figura 4.8 Espectro de la galaxia NGC 3370 obtenido tras las observaciones en el WHT (bruto). El espectro superior corresponde al brazo de ISIS, mientras que el inferior es el obtenido por el brazo azul.

también acepta otras extensiones), que son las que nos proporcionan los telescopios, en este caso, el WHT. Si bien todos poseen la misma extensión, no poseen todas las mismas características. En concreto, tenemos cinco tipos de imágenes distintas:

Bias. Son imágenes que toma la cámara con tiempo de exposición cero, y son las primeras que se toman (por la tarde, antes de empezar), o las últimas (después de acabar). Se toman para medir la corriente de lectura del sistema.

Flats. Se toman para ver la sensibilidad espectral de los píxeles de la cámara. Pueden ser de cúpula (se toman con la cúpula cerrada e iluminada), o de cielo (apuntando al cielo al anochecer o al amanecer).

Estrellas estándar. Imágenes de estrellas espectrofotométricas con flujo conocido. Se utilizan para la calibración en flujo de los espectros.

Arcos. Imágenes de calibración obtenidas mediante la iluminación de la cámara por lámparas de elementos conocidos para la calibración en longitud de onda.

Ciencia. Son las imágenes resultantes de apuntar el telescopio a los objetos de interés (galaxias, nebulosas, planetas, etc.).

A continuación se detalla el proceso de reducción y calibración de las imágenes hasta la obtención de los espectros definitivos.

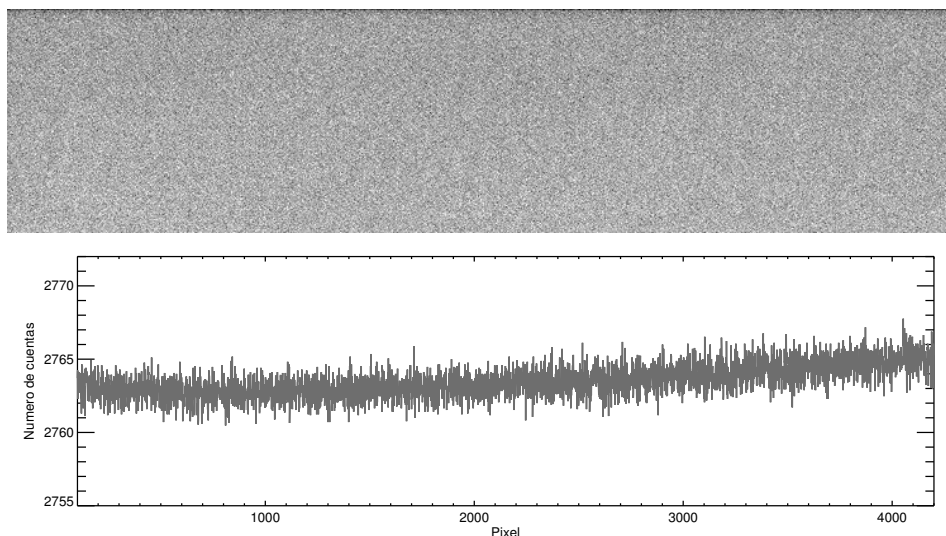


Figura 4.9 Imagen de tiempo cero (*bias*) y corte horizontal que muestra la homogeneidad en el número de cuentas. Tomada en el WHT con ISIS.

4.3.1. Debiasing

El primer paso consiste en la sustracción del (*bias*), que es una carga añadida durante el proceso de lectura de los píxeles de la CCD. Este *bias* no corresponde a la cuenta real de fotones provenientes de la exposición, sino al ruido de lectura y de la electrónica de la cámara. Hay que sustraer el *bias* a todas las imágenes (*flats*, de ciencia, arcos y estrellas) para asegurarnos de que todas las cuentas vienen en exclusiva del campo que estemos observando. Para obtener este *bias* se toman una serie de imágenes con tiempo de exposición cero. Estas imágenes son independientes del telescopio, instrumento, red de dispersión o filtros si los hubiere.

Si por cualquier motivo no es posible obtener un *bias*, se puede obtener un valor acorde mirando en las zona de *overscan*⁵ de cualquiera del resto de imágenes, y contando el número de cuentas. Las zonas de *overscan* son aquellas que quedan fuera del campo de visión del instrumento, y por consiguiente, no llegan fotones al detector.

Para realizar este proceso, dentro del entorno de IRAF, tenemos varias tareas. IMSTAT proporciona información sobre el número medio de cuentas, los valores máximo y mínimo, la desviación estándar. Con IMEXAM podemos examinar la imagen interactivamente, para ver cuáles son las zonas de *overscan* de las imágenes. La Figura 4.9 muestra una imagen de *bias* con un corte

⁵Esta zona está formada por unas columnas o filas adicionales, que suelen contener todas las imágenes. Estas filas o columnas son virtuales, no existen físicamente sobre el detector, siendo creadas artificialmente por la electrónica de lectura, y por tanto no están iluminadas.

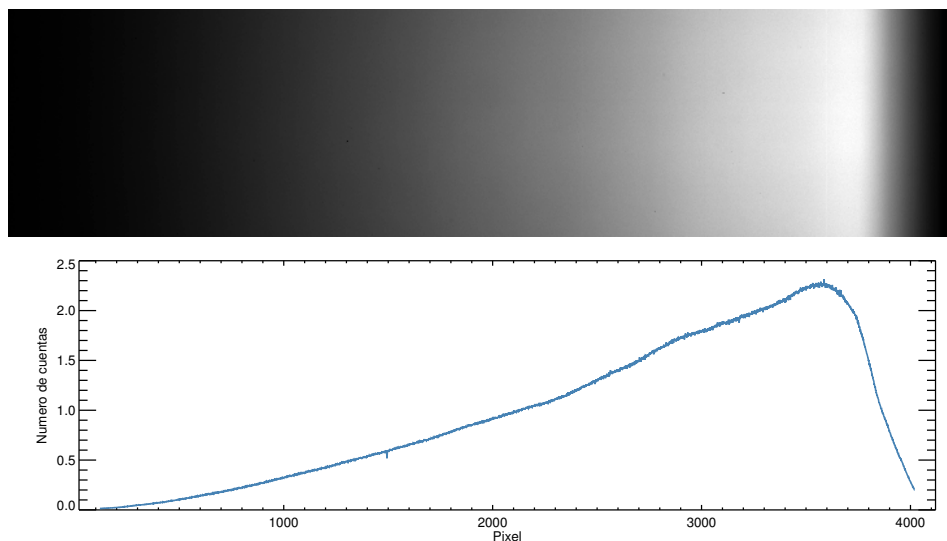


Figura 4.10 Imagen de *flat* y corte horizontal que muestra la homogeneidad en el número de cuentas, obtenida con el brazo azul de ISIS en el WHT..

en una dimensión que muestra el número de cuentas.

Una vez se han examinado todos los *bias*, se combinan promediando el número de cuentas para crear un *master bias*, que es el archivo que se sustraerá sistemáticamente a todas las demás imágenes tomadas cada noche.

4.3.2. Corrección por campo plano. Flat-fielding

Las imágenes de flatfield son necesarias para corregir las variaciones de sensibilidad a lo largo de la CCD, y para también eliminar posibles imperfecciones del conjunto telescopio + instrumento + filtros. En este caso, los *flats* dependen de la configuración instrumental. Para obtener estas imágenes, idealmente se apunta al cielo en el crepúsculo, a una zona libre de estrellas, prestando especial atención al tiempo de integración, pues al querer tomar varias exposiciones, la luz del cielo varía y se corre el riesgo de saturar las imágenes, o, por el contrario, de no alcanzar el número de cuentas deseado para tener una buena relación señal-ruido. Por otra parte se pueden tomar flats de cúpula, con ésta cerrada e iluminada. Para cada configuración y noche, se tomaron siete flats por brazo, que tras la sustracción del master bias, se combinan.

En ocasiones, en el caso de espectroscopía, las imágenes de flatfield presentan estructuras muy diferentes a lo largo de la dirección espacial y la espectral y es necesario corregir a respuesta de los píxeles a tales variaciones. Para eliminar esta estructura se ajusta una función suave al promedio de

todas las filas o columnas a través de la dirección espacial, y finalmente se determina la corrección a partir del cociente entre las dos. Para tal función, la tarea RESPONSE es la que corrige el efecto. Por último queda comprobar si existen gradientes de iluminación a gran escala, especialmente si, para el caso de espectroscopía, se han utilizado unos flats con iluminación distinta a los objetos en el cielo (flats de cúpula). Para ello se emplea la tarea ILLUMINATION.

El resultado es un *master flat*, por el cual todas las demás imágenes científicas, ya corregidas por *bias* serán divididas.

4.3.3. Eliminación de rayos cósmicos

Para esto se emplea la tarea IMCOMBINE (la misma utilizada para combinar los diferentes *bias* y flats), que combina todas las imágenes de un objeto para generar la imagen de ciencia ya preparada para ser calibrada en flujo y longitud de onda. Dentro de esta tarea, el parámetro REJECT, bajo la orden MINMAX, la cual no considera en cada píxel los valores mayor y menor. Es importante también escalar el tiempo de exposición de las diferentes imágenes, porque, aunque lo normal es tomar de dos a cuatro tomas de un mismo tiempo de integración, hay veces en las que es necesario aumentar éste, o incluso cortarlo debido a condiciones climatológicas repentinas adversas.

Con todo ello, se genera una imagen lista para ser calibrada en longitud de onda y en flujo.

4.3.4. Calibración en longitud de onda

Para cada objeto y estrella de calibración se toma una imagen de las lámparas de calibración (arco), que servirá para calibrar en longitud de onda. La tarea IDENTIFY identifica líneas de los espectros conocidos de las lámparas, en un corte en la dirección espacial de la imagen. Posteriormente, la tarea FITCOORDS realiza el ajuste bidimensional en longitud de onda para cada arco. Una vez calibrada la imagen, se ejecuta la tarea TRANSFORM sobre las imágenes científicas (objetos y estrellas espectrofotométricas), usando como dato la calibración dada en la imagen de la lámpara.

De esta manera ya están calibradas en longitud de onda las imágenes bidimensionales de las estrellas espectrofotométricas y las galaxias de la muestra.

4.3.5. Extracción de espectro unidimensional

Se realiza con la tarea APALL, la cual genera un corte en la dirección espacial de la imagen, y muestra las zonas susceptibles para la extracción de espectros. En el caso de esta tesis, los cortes se corresponden con regiones de formación estelar con líneas de emisión intensas. En la Figura 4.12 puede

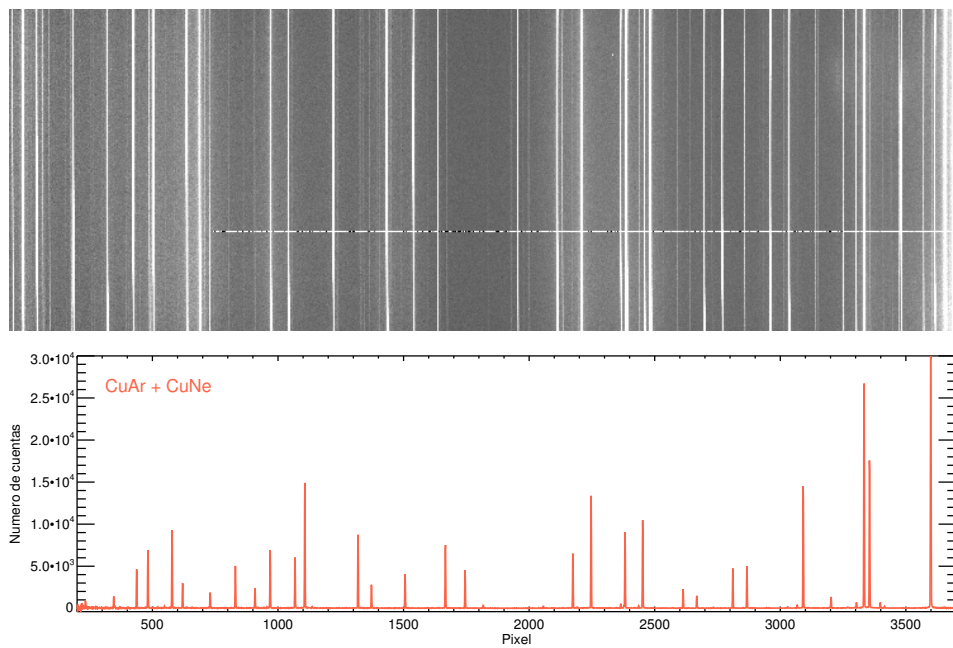


Figura 4.11 Imagen con el espectro bidimensional de una lámpara de calibración ‘CuAr + CuNe’, y corte horizontal (en la dimensión espacial) del mismo. Cada línea brillante vertical corresponde a una emisión concreta del gas en las lámparas de calibración a una longitud de onda muy específica. Imágen correspondiente al brazo rojo de ISIS en el WHT.

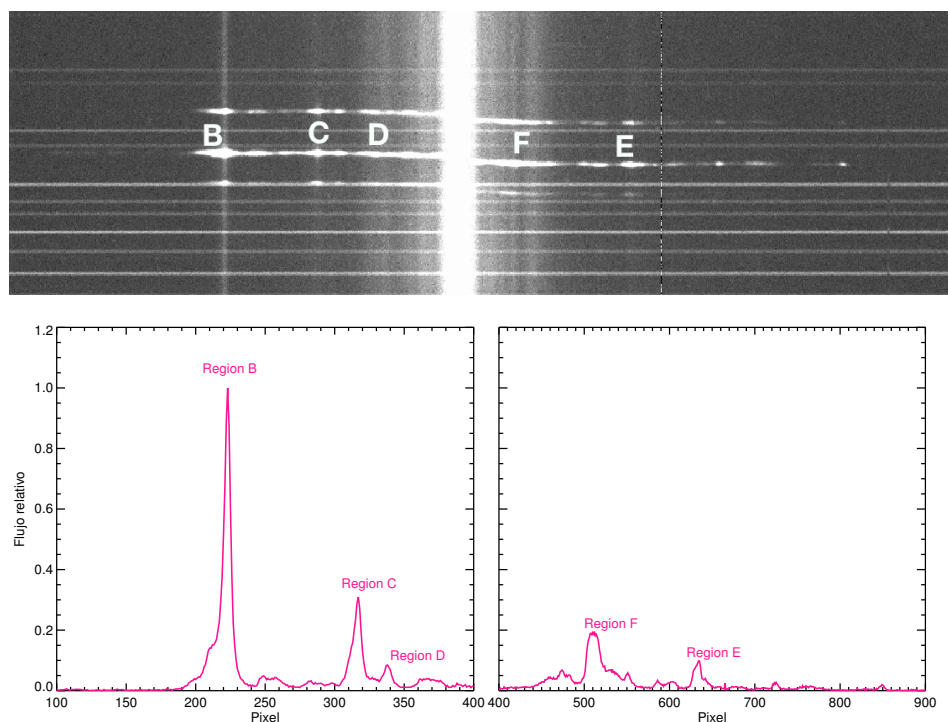


Figura 4.12 Espectro bidimensional de la galaxia NGC 3370 alrededor de las líneas de $H\alpha$ y $[N II]$ obtenido con ISIS WHT. Se observa también el continuo de la galaxia (línea gruesa brillante vertical) y las emisiones telúricas (de cielo, líneas horizontales). El panel inferior muestra la distribución de intensidades de las regiones.

verse un corte de la galaxia NGC 3370 con las regiones de extracción claramente definidas. Por una parte, cada región tendrá una apertura diferente, en relación a cuán extensa sea la región en la galaxia. A la vez, la tarea sustrae de forma interactiva con el usuario la emisión del fondo del cielo (líneas horizontales en la imagen), de manera que el espectro final tenga únicamente contribuciones de la propia región.

Para cada galaxia de la muestra de WHT se tienen dos espectros bidimensionales, relativos al brazo rojo y al brazo azul de ISIS. Las extracciones de los espectros del brazo rojo están realizadas a partir de la línea de $H\alpha$, mientras que los del brazo azul se obtienen a partir de $H\beta$. Como las CCDs tienen diferente resolución espacial, hay que tener especial cuidado en convertir los píxeles del rojo a píxeles del azul para que luego el flujo sea compatible de un brazo a otro, al estar midiendo exactamente la misma región física de la galaxia.

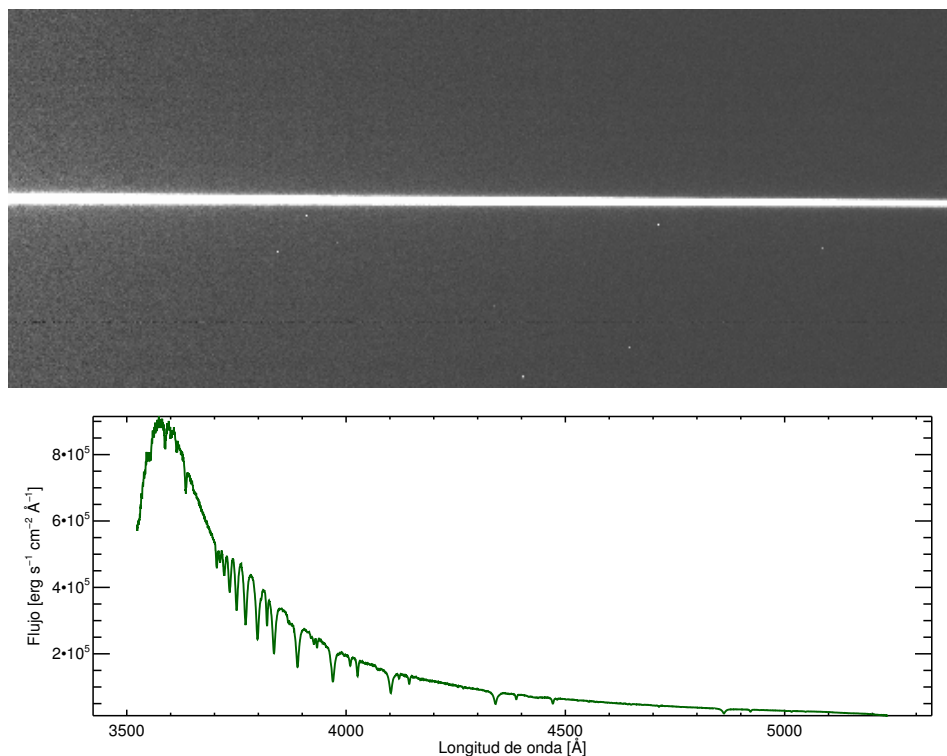


Figura 4.13 Espectro bidimensional y distribución de energía de la estrella de calibración H600. Obtenido con el brazo azul de ISIS en el WHT.

4.3.6. Calibración en flujo

El primer paso es extraer los espectros de las distintas estrellas espectrofotométricas (si hubiera más de una), según lo explicado en la sección anterior. Después, para cada una se ejecuta la tarea STANDARD para seleccionar los rangos útiles para la calibración de la estrella (eliminando absorciones fuertes de la estrella, o absorciones/emisiones de la atmósfera). A continuación se ejecuta la tarea SENSFUNC que genera para cada longitud de onda el factor de calibración entre cuentas y flujo (en unidades de $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$), que se guarda en un fichero nuevo.

En el caso de las observaciones realizadas en el WHT, este procedimiento se realiza para las tres estrellas en cada configuración y brazo, y se promedian los resultados.

El último paso es la calibración en flujo del espectro unidimensional, mediante la ejecución de la tarea CALIBRATE, con el fichero obtenido justo en el paso anterior y con el fichero con la extinción atmosférica del Observatorio del Roque de los Muchachos.

El resultado final es un espectro (o en este caso dos, pero que hacen las veces de uno) unidimensional calibrado en longitud de onda y flujo.

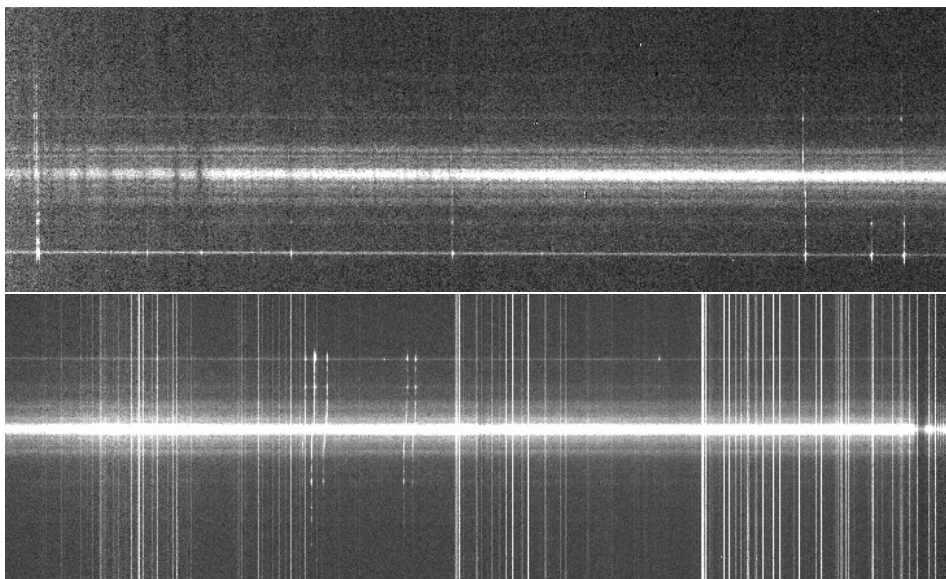


Figura 4.14 Espectro de NGC 3370 obtenido tras todo el proceso de reducción y calibrado. Comparar con la Figura 4.8

La figura 4.8 muestra un espectro bidimensional tal y como se obtiene del telescopio. La figura 4.14 muestra el mismo espectro de la figura 4.8 habiéndose combinado, reducido y calibrado. Se puede ver cómo se han eliminado los rayos cósmicos, las zonas de baja sensibilidad de las cámaras, y mejorado la señal respecto a la imagen original.

4.3.7. Corrección de velocidad radial

Se define el desplazamiento al rojo, z , de una galaxia como el desplazamiento hacia el rojo de todas las líneas de emisión del espectro:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \quad (4.1)$$

donde λ_0 hace referencia a la longitud de onda emitida en reposo (emitida) y λ a la longitud de onda observada. Para galaxias fuera del Grupo Local, el corrimiento al rojo será siempre positivo debido a la expansión del Universo. Para galaxias del Grupo Local, z puede tener valores negativos, lo que significaría un acercamiento como el que se ha detectado en algunas galaxias cercanas.

Con la tarea `SPLIT` se determinan las longitudes de ondas centrales de las principales líneas de emisión ($[\text{O II}]$, $\text{H}\delta$, $\text{H}\gamma$, $\text{H}\beta$, $[\text{O III}]$, $\text{H}\alpha$, $[\text{N II}]$ y $[\text{S II}]$), y junto con las medidas de sus anchuras equivalentes, se calcula el *redshift*

utilizando la ecuación 4.2.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n z_i \times EW_i}{\sum_{i=1}^n EW_i} \quad (4.2)$$

Una vez calculado el *redshift*, con la tarea DOPCOR se obtiene el espectro unidimensional corregido por desplazamiento al rojo.

Capítulo 5

Galaxias Locales

En este capítulo se analizan los resultados de los espectros tomados en el Telecopio William Herschel y descritos en el capítulo 4.

5.1. Medidas de las líneas

En la mayoría de los espectros obtenidos se han medido siete líneas de emisión: tres líneas de hidrógeno de la serie de Balmer ($H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$), y cuatro de las líneas más brillantes de excitación colisional de metales: $[O\ II]\ \lambda\lambda 3726, 29$ (doble), $[O\ III]\ \lambda 5007$, $[N\ II]\ \lambda 6583$, y $[S\ II]\ \lambda\lambda 6716, 31$. Aquellos espectros para los cuales no disponemos de estas siete líneas, o bien han sufrido cortes más estrictos en las imágenes bidimensionales, de manera que las líneas situadas en los extremos, quedan fuera de la región útil; o bien porque la señal a ruido (S/N) de las líneas no era lo suficientemente alta (línea muy débil, con $S/N < 3$), por lo que no se ha considerado que sea una medida precisa. Las intensidades de las líneas y sus anchuras equivalentes se han medido integrando toda la emisión entre los límites de la líneas, sobre un continuo adyacente. Todas las medidas se han realizado con la rutina `SPLIT` de `IRAF`. Debido a la poca intensidad de algunas líneas, se ha tenido que realizar una inspección detallada de los espectros para tener una estimación adecuada del nivel del continuo adyacente y tener el valor correcto del flujo emitido.

Este paso es de vital importancia, puesto que al utilizar procedimientos automáticos, que normalmente consideran ajustes gaussianos, usualmente se tiende a sobreestimar el flujo de las líneas. Para cada línea de emisión (en particular para las líneas de Balmer del hidrógeno, debido a que están afectadas por las componentes de absorción estelar de la galaxia) se han considerado diferentes medidas usando niveles de continuo ligeramente distintos. Los errores de los flujos se han estimado, para cada línea, considerando tanto el ancho de las líneas como el *rms* del continuo adyacente a cada línea.

5.2. Naturaleza de la emisión

Una vez las líneas de emisión extraídas, lo primero es comprobar la naturaleza de la emisión del gas en nuestra muestra de galaxias, haciendo uso de los diagramas de diagnósticos, propuestos por Baldwin et al. (1981). Estos diagramas, como se ha explicado en el Capítulo 3, son una herramienta muy útil para distinguir entre AGNs (Núcleos Galácticos Activos), LINERs (del inglés *Low-Ionization Narrow-Emission Regions*), y regiones de formación estelar (regiones H II). Se basan en la representación de cocientes de intensidades de líneas para clasificar la naturaleza de la emisión. Por un lado tenemos los cocientes $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ versus $[\text{N II}] \lambda 6583 / \text{H}\alpha$ (Figura 5.1a) y por el otro $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ versus $[\text{S II}] \lambda \lambda 6716, 31 / \text{H}\alpha$ (Figura 5.1b). La clasificación se hace en base a los límites establecidos por modelos y datos empíricos:

En las Figuras 5.1a,b, las regiones H II están representadas por los puntos azules, mientras que las regiones AGN están pintadas en rojo. Entre estas, aquellas que tienen una contribución compuesta entre la ionización de estrellas calientes y los choques o discos de acreción, están dibujadas en naranja. Estas regiones compuestas también podrían ser regiones de formación estelar (sin contribución alguna de choques o cualquier otro fenómeno físico) con un alto contenido de nitrógeno proveniente de vientos estelares de estrellas masivas, como las Wolf-Rayet (WR, Pérez-Montero y Contini, 2009).

Se puede ver cómo los objetos rojos (AGNs) están por encima de la línea de Kewley et al. (2001) en las dos figuras. De manera similar, las regiones de formación estelar se sitúan por debajo de esta línea, dentro de los errores.

Sin embargo, de un total de 102 regiones extraídas de las imágenes bidimensionales de las 28 galaxias de la muestra, únicamente 63 han podido ser clasificadas. Esto es, sólo 63 tenían al menos las cuatro líneas necesarias: $[\text{O III}] \lambda 5007$, $\text{H}\beta$, $\text{H}\alpha$ y $[\text{N II}] \lambda 6583$. De las otras 38 regiones, 12 eran centros galácticos o zonas con espectros debidos únicamente a la población estelar, mientras que en las otras 63 restantes no pudo medirse el cociente $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$, por lo que no pudieron ser clasificadas.

Para poder aumentar la muestra y utilizar estas 26 regiones, se dibujó la distribución del cociente $[\text{N II}] \lambda 6583 / \text{H}\alpha$ para las regiones clasificadas y para estas 26 sin clasificar. La Figura 5.2 muestra esta distribución, y puede verse cómo la distribución de las regiones sin clasificar no alcanza en ningún caso el valor límite establecido por las regiones AGN. Este resultado, añadido al hecho observacional de que, normalmente, una región AGN presenta un flujo de $[\text{O III}] \lambda 5007$ mucho mayor que de $\text{H}\beta$, y que en estos casos, el $[\text{O III}] \lambda 5007$ no está presente, indica que ninguna de estas regiones sin definir tiene contribución de AGNs, y pueden entrar en el posterior análisis, pasando de tener 63 regiones, a tener $63 + 26 = 89$ regiones, que conforman la muestra definitiva.

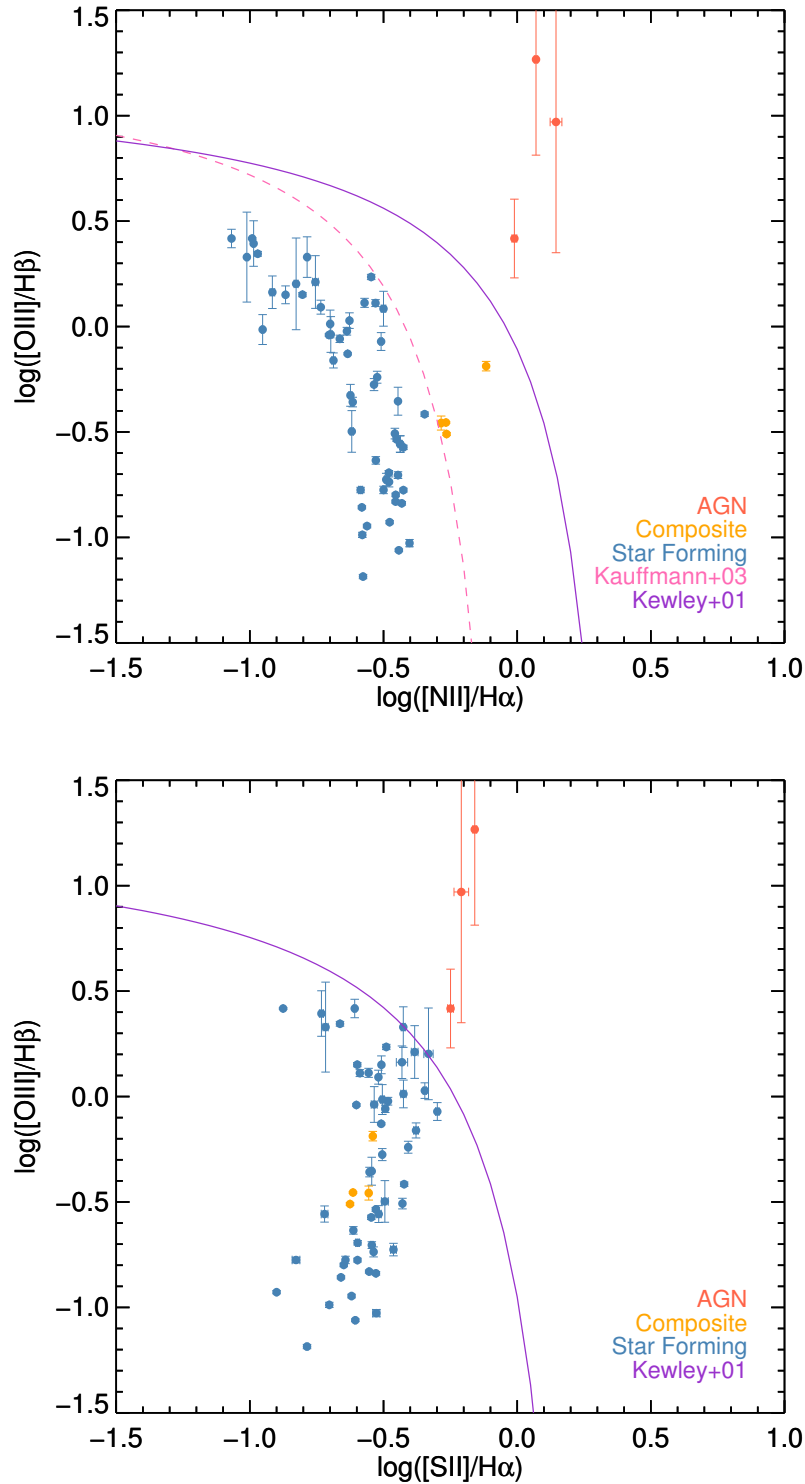


Figura 5.1 Diagramas de diagnóstico para las regiones que conforman la muestra de galaxias locales observadas en el 4.2m WHT. Los puntos azules son regiones de pura formación estelar, los rojos son núcleos galácticos activos, mientras que los puntos naranjas hacen referencia a regiones de formación estelar con contribución a las líneas de emisión por choques. La línea sólida púrpura de Kewley et al. (2001) marca el límite con AGNs, y la rosa rallada, de Kauffmann et al. (2003), más restrictiva, delimita las regiones con líneas producidas únicamente por ionización de estrellas calientes, que se sitúan por debajo de ésta.

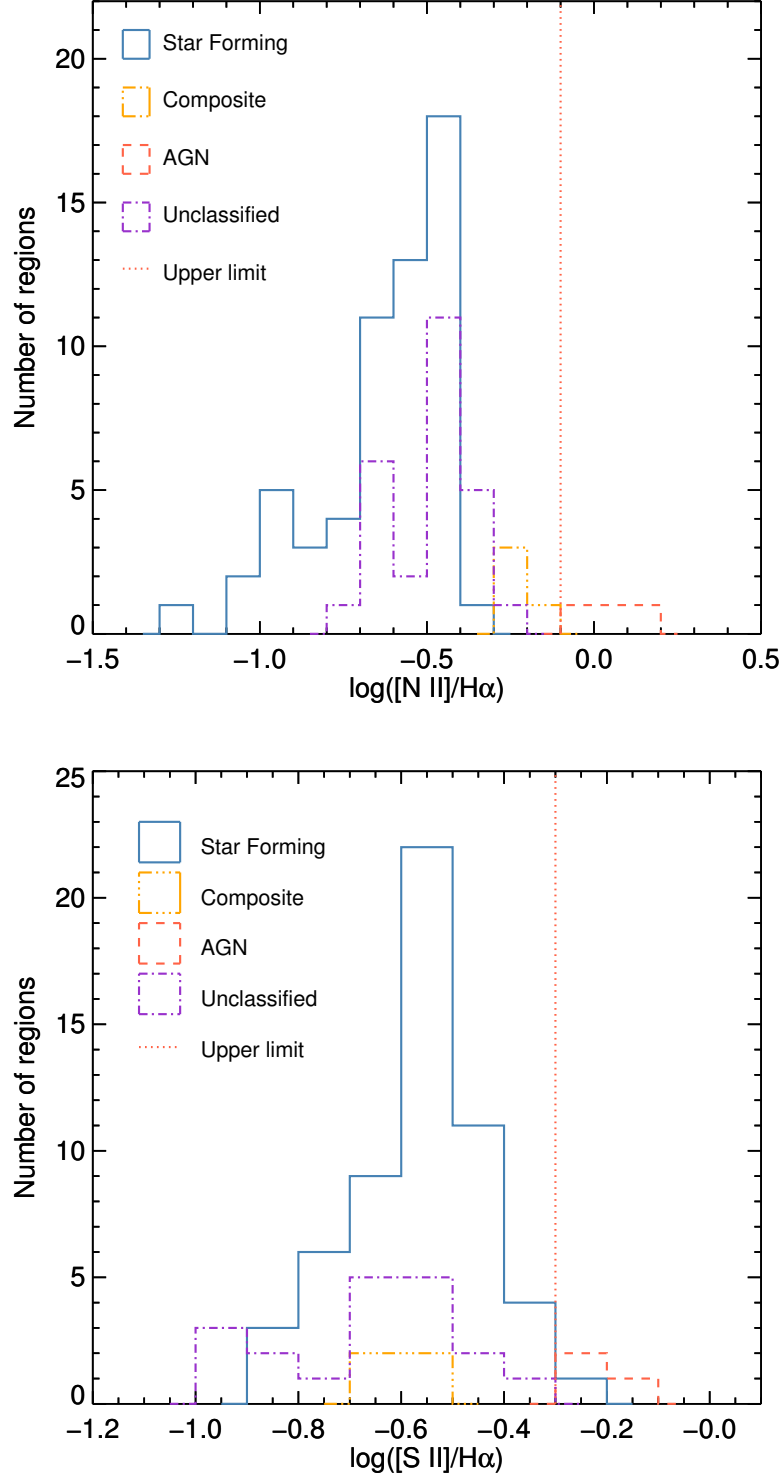


Figura 5.2 Distribución del parámetro $N2$ (arriba) y el cociente $\log([S II]/H\alpha)$ (abajo) para la muestra de galaxias. En azul se muestran las regiones de formación estelar, en naranja las consideradas como compuestas, en rojo los AGNs, y en púrpura las no clasificadas. Se ha establecido como límite superior el menor valor de los parámetros $N2$ y $\log([S II]/H\alpha)$ de los AGNs para cada distribución. Al estar por completo la distribución de las regiones no clasificadas por debajo de este límite, se considera que estas regiones no son AGNs, y por tanto, se las puede incluir en el estudio para la estimación de las abundancias de oxígeno.

5.3. Corrección por enrojecimiento

Los flujos de las líneas de emisión tienen que ser corregidos por enrojecimiento. Esto se debe a que entre el objeto y el observador hay medio interestelar que extingue la luz que nos llega. Se trata del polvo galáctico, que hace que veamos los objetos más rojos de lo que son, debido a que por su tamaño (del orden de los nanómetros), absorbe las longitudes de onda azules, haciendo enrojecer los objetos observados. Esta corrección se realiza teniendo en cuenta el decremento de Balmer del hidrógeno siguiendo la ecuación:

$$\frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} = \frac{F(\lambda)}{F(H\beta)} \times 10^{c(H\beta)[f(\lambda)-f(H\beta)]}, \quad (5.1)$$

donde $I(\lambda)/I(H\beta)$ es el flujo de la línea corregido de absorción o enrojecimiento; $F(\lambda)/F(H\beta)$ es el flujo observado; $c(H\beta)$ es la constante de enrojecimiento; y $f(\lambda)$ es la curva de enrojecimiento normalizada a $H\beta$ siguiendo la ley de extinción de Cardelli et al. (1989).

Para calcular la constante de enrojecimiento, $c(H\beta)$, se utilizan $H\alpha$ y $H\beta$ en la Ecuación 5.1. Cuando hay otras líneas de Balmer disponibles, como por ejemplo $H\gamma/H\beta$ y $H\delta/H\beta$, el coeficiente de enrojecimiento se puede calcular con mayor precisión (ver capítulo 7).

En objetos extragalácticos, los flujos de las líneas nebulares de Balmer están afectados por la absorción producida por las poblaciones estelares subyacentes (principalmente estrellas de tipo A y B). Se ha considerado para tal efecto que las líneas están afectadas por absorción de las poblaciones estelares subyacentes, considerando en la siguiente ecuación W_{abs} (se asume el mismo valor para todas las líneas de absorción de hidrógeno):

$$c(H\beta) = \frac{1}{f(\lambda)} \log \left[\frac{\frac{I(\lambda)}{I(H\beta)} \times 1 + \frac{W_{abs}}{W_{H\beta}}}{\frac{F(\lambda)}{F(H\beta)} \times 1 + \frac{W_{abs}}{W_{H\lambda}}} \right] \quad (5.2)$$

En esta ecuación, W_{abs} , W_{λ} , y $W_{H\beta}$ son las anchuras equivalentes de las poblaciones estelares subyacentes, de la línea de Balmer considerada y de $H\beta$, respectivamente.

Para las regiones en las que ha sido posible medir tres líneas de Balmer II ($H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$), se calculan los valores de $c(H\beta)$ y W_{abs} que mejor ajustan con los valores de los flujos y las anchuras equivalentes medidas. En caso de que haya solo dos líneas de Balmer ($H\alpha$ y $H\beta$), se asume $W_{abs} = 1.0 \text{ \AA}$ (valor medio típico para las regiones de formación estelar, López-Sánchez y Esteban, 2009) y se calcula el coeficiente de enrojecimiento únicamente con el cociente $H\alpha/H\beta$.

En el análisis típico de regiones de formación estelar se considera que los cocientes teóricos entre líneas de Balmer son: $I(H\alpha)/I(H\beta) = 2.86$,

Tabla 5.1 Valores de la función de extinción extraídos de Cardelli et al. (1989) para las principales líneas de emisión observadas en los espectros.

Línea de emisión	$f(\lambda) - f(H\beta)$
[O II] $\lambda 3727$	0.362
H δ $\lambda 4101$	0.259
H γ $\lambda 4340$	0.177
H β $\lambda 4861$	0.000
[O III] $\lambda 4959$	0.362
[O III] $\lambda 5007$	-0.028
H α $\lambda 6563$	-0.338
[N II] $\lambda 6583$	-0.342
[S II] $\lambda 6716$	-0.362
[S II] $\lambda 6731$	-0.364

$I(H\gamma)/I(H\beta) = 0.46$ y $I(H\delta)/I(H\beta) = 0.17$, siguiendo el caso B de recombinación para una temperatura electrónica de $T_e = 10000$ K y una densidad de electrones de $n_e = 100 \text{ cm}^{-2}$ (Storey y Hummer, 1995; Osterbrock y Ferland, 2006). Sin embargo, estos cocientes teóricos dependen de la temperatura electrónica. Objetos con $T_e \sim 15000$ K tienen $I(H\alpha)/I(H\beta) = 2.79$, mientras que objetos con $T_e \sim 5000$ K presentan un valor de $I(H\alpha)/I(H\beta) = 3.04$. Puesto que la metalicidad hace que la temperatura electrónica cambie (a mayor abundancia en metales, menor es la temperatura), estos cocientes variarán con el OH.

5.4. Cálculo de abundancias de oxígeno

Cuando no se detectan las líneas aurales (son muy débiles), como [O III] $\lambda 4363$ o [N II] $\lambda 5755$, son los métodos SEL (del inglés *Strong Emission Lines*), ya descritos en el Capítulo 3, los utilizados para la estimación de las abundancias de oxígeno del gas ionizado. Cuando se utiliza métodos SEL hay que tener en consideración dos factores, recordando lo explicado en ese capítulo:

- Para medir correctamente algunos de estos parámetros (por ejemplo, R_{23} , $N2O2$), los flujos de las líneas de emisión han de ser corregidos de enrojecimiento. Esto añade una fuente extra de errores a la determinación de las abundancias. Esto no ocurre sin embargo, con los parámetros $N2$ y $O3N2$, ya que los cocientes son entre líneas que se sitúan muy próximas las unas a las otras en el espectro, haciendo insensibles estos parámetros al enrojecimiento.

- La intensidad de las líneas de oxígeno no crece monótonamente con la abundancia, y debido a esto, algunos parámetros (como R_{23}) están bivaluados. Para el caso del parámetro R_{23} , las calibraciones vienen dadas para $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \leq 8.0$ (baja abundancia de oxígeno), y $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.3$ (alta abundancia de oxígeno).

Por estas dos razones, es muy conveniente (en los últimos años se ha venido usando de manera general en la literatura) el uso de dos parámetros en particular, $N2$ y $O3N2$, que no se ven afectados por el enrojecimiento ni se encuentran bivaluados. Sin embargo, hay que ser cuidadoso con estos parámetros. Por ejemplo, $N2$ satura a alta abundancia, $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.65$, mientras que $O3N2$ no es válido para el rango de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \leq 8.10$.

Con estos dos parámetros, las calibraciones más utilizadas en la literatura son las propuestas por Pettini y Pagel (2004), las Ecuaciones 3.39 y 3.40. Sin embargo, estas calibraciones no cubren el rango adecuado de metalicidad, pues están basadas en conjuntos de datos empíricos en los que faltan puntos a alta abundancia de oxígeno. Por ello se les añadieron resultados de modelos de fotoionización, lo que las hace poco consistentes en todo el rango de metalicidad. Recientemente, Marino et al. (2013) añadió, mediante el proyecto CALIFA, nuevos datos de abundancia de oxígeno de regiones H II bien resueltas obteniendo las expresiones dadas en las ecuaciones 3.41 y 3.42.

Para este caso, utilizamos las calibraciones propuestas por Marino et al. (2013), ya que son del todo adecuadas para nuestros propósitos, y son válidas además para todo el rango de abundancia de oxígeno en el que nos movemos, $12 + \log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.1$.

Por último, entre estos dos parámetros, se puede decir que $O3N2$ es más consistente, ya que no satura a alta abundancia, y depende además del parámetro de ionización. Y por ello, será el que se usará para obtener los valores de abundancia de oxígeno para estas galaxias locales.

Se han obtenido $OH_{N2} = 12 + \log(\text{O}/\text{H})_{N2}$ y $OH_{O3N2} = 12 + \log(\text{O}/\text{H})_{O3N2}$ para las regiones de la muestra. Sin embargo, como se ha explicado anteriormente (Capítulo 3), no todos los espectros presentan la línea de $[\text{O III}] \lambda 5007$, de manera que no puede derivarse la abundancia con el parámetro $O3N2$. Por esta razón, hay 63 regiones para las cuales la abundancia de oxígeno se ha podido calcular con los dos parámetros, pero hay 23 regiones para las cuales sólo se ha obtenido únicamente OH_{N2} . Por tanto, se ha establecido para las 63 regiones, una relación entre ambas abundancias, de manera que sea posible calcular la que se obtendría con el parámetro $O3N2$ a partir de la calculada con $N2$, de manera análoga a como se hizo para otras calibraciones en Kewley y Ellison (2008). La Figura 5.3 compara OH_{O3N2} con OH_{N2} , y de un ajuste de mínimos cuadrados se obtiene que:

$$OH_{O3N2} = 1.15[\pm 0.09] - 1.23[\pm 0.77] \times OH_{N2} \quad (5.3)$$

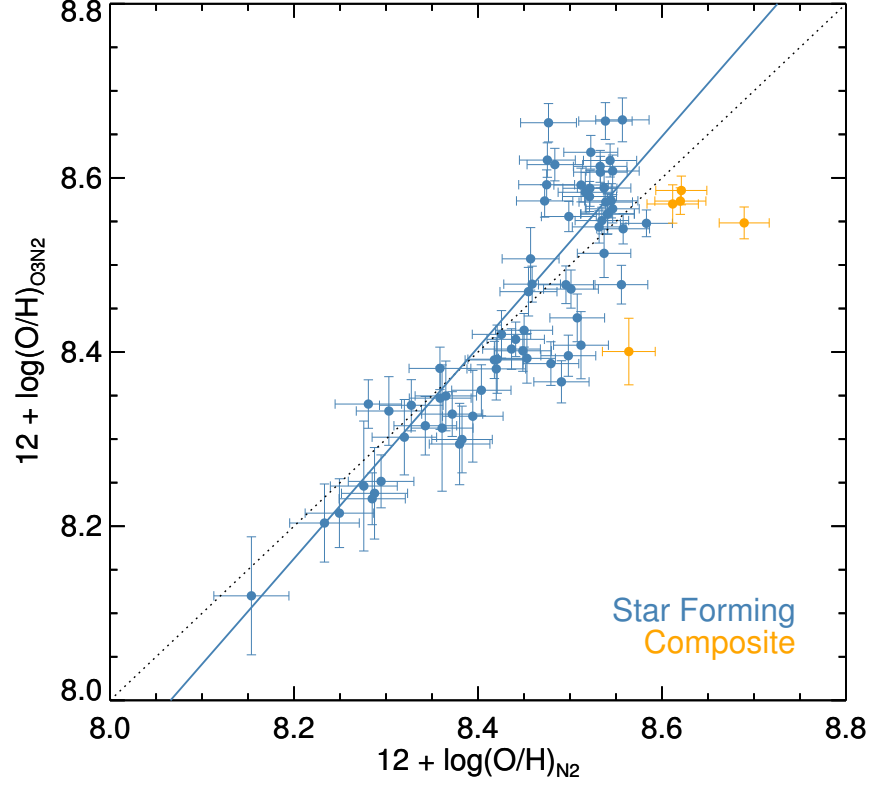


Figura 5.3 Abundancias de oxígeno estimadas con el parámetro $N2$ comparadas con las obtenidas mediante $O3N2$ para las 63 regiones para las que se tienen ambas medidas. Los puntos azules y naranjas corresponden a regiones de formación estelar y compuestas, respectivamente. La línea punteada es la identidad, mientras que la línea continua representa un ajuste lineal a los datos.

con un coeficiente de correlación $r = 0.88$. Con esta expresión se convierten las abundancias OH_{N2} a OH_{O3N2} para las 26 regiones para las que no disponemos de $[O III] \lambda 5007$.

5.5. Gradientes de abundancia de oxígeno

Una vez calculada la abundancia de oxígeno para las 89 regiones de la muestra, se obtienen gradientes de abundancia de oxígeno para todas las galaxias. Utilizamos para ello las distancias radiales deproyectadas (GCD), en base al ángulo de inclinación de la galaxia en relación al eje paraláctico y a la relación entre los semiejes mayor y menor. Estas GCD son cruciales a la hora de determinar la distribución radial de abundancias y el gradiente correspondiente. El objetivo es asignar un valor local de abundancia de

oxígeno a la posición en la que se encuentra cada SN Ia. Se procede de la siguiente manera:

- En 21 galaxias se detectan varias regiones H II; por tanto se estima un gradiente radial para la abundancia de oxígeno y se utiliza para determinar la abundancia correspondiente a la posición donde cada SN Ia explotó (distancia galactocéntrica deproyectada). Se asume para ello un único gradiente de abundancia en cada galaxia. Esto es, para cualquier dirección radial, el gradiente radial de abundancia de oxígeno es el mismo¹ (Sánchez et al., 2014).
- Para las otras 7 galaxias, no ha sido posible establecer un gradiente preciso, ya sea por la falta de puntos, o por la proximidad entre ellos; en este caso se selecciona para la posición de cada SN Ia la abundancia de la región más cercana en cada galaxia, siendo ésta típicamente de unos 2–3 kpc.

A continuación se discuten una por una las galaxias de la muestra.

¹Sin embargo, esto es una aproximación. Estudios multifibras o con IFU están observando variaciones azimutales además de radiales (López-Sánchez et al., 2015)

M 82 / NGC 3034

En la galaxia M 82 sólo se han medido dos regiones que están muy cerca entre ellas, de modo que el gradiente podría no ser consistente. Sin embargo, debido a la planicidad del mismo (presenta una variación de 0.01 dex entre la región A y la SN2014J) usaremos este gradiente para calcular la abundancia en la región de la supernova.

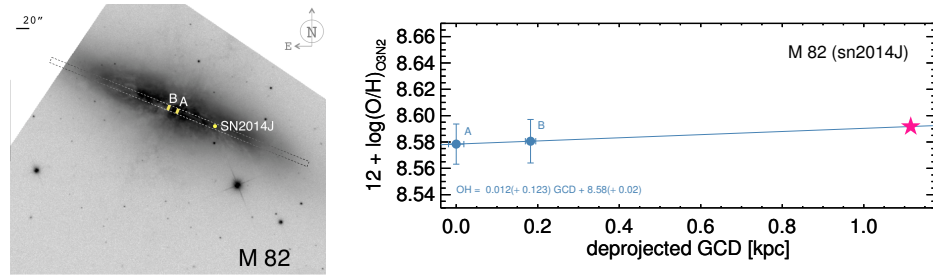


Figura 5.4 Izquierda: Galaxia M 82 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de OH asociada a la región de la SN2014J (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

MCG-02-16-02

Con MCG-02-16-02 hay un problema: se presenta de canto, haciendo que los errores en la estimación de la posición de la SN2003kf sean más elevados de lo que uno desearía. La región A no presenta líneas de emisión; y con las regiones B y C, separadas lo suficiente, se obtiene un gradiente, que es el que da la abundancia en la posición de la supernova.

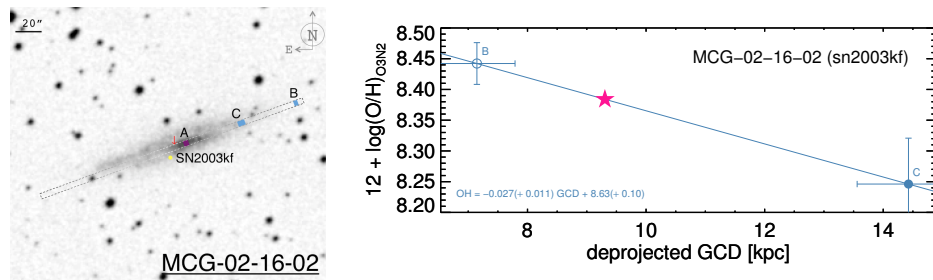


Figura 5.5 Izquierda: Galaxia MCG-02-16-02 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia asociada a la región de la SN2003kf (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 0105

Para la galaxia NGC 0105 únicamente se dispone de una región útil. En la Figura 5.6 se aprecian tres regiones, pero las regiones A y C han sido descartadas (A diagnosticada como AGN y C como galaxia satélite). Es por esto que para la SN1997cw, la abundancia de oxígeno viene determinada por la de la única región con medidas (B), a unos 2 kpc de distancia. No obstante, se escoge el valor dado por Galbany et al. (2016), donde han obtenido con datos de CALIFA una distribución radial de abundancias de oxígeno (círculos rojos de la figura) que nos ha permitido obtener un valor para la región de la SN Ia.

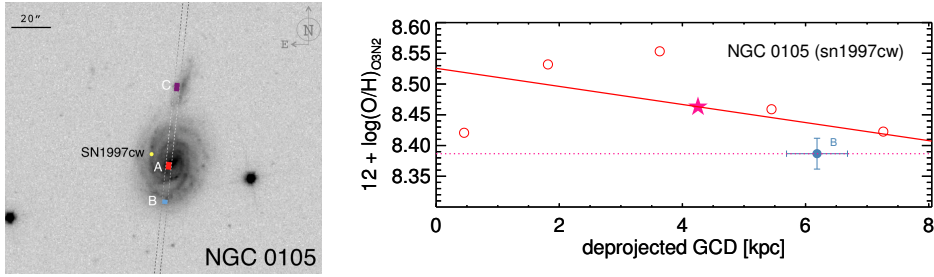


Figura 5.6 Izquierda: Galaxia NGC 0105 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la sn1997cw (estrella rosa), en este caso correspondiente al valor dado por Galbany et al. (2016).

NGC 1275

En la galaxia NGC 1275 la región A se clasifica como AGN, por lo que, atendiendo a la Figura 5.7, se tiene un solo punto (región C), situada a una distancia de ~ 3.5 kpc. A tal distancia la variación del posible gradiente no afectaría excesivamente a la abundancia de oxígeno obtenida.

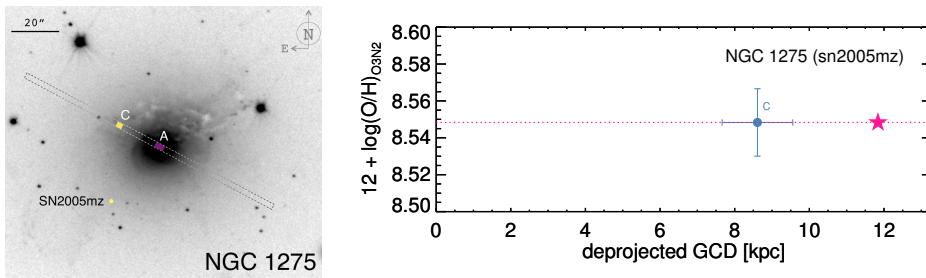


Figura 5.7 Izquierda: Galaxia NGC 1275 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2005mz (estrella rosa), correspondiente a la región más cercana.

NGC 1309

En el caso de la galaxia NGC 1309 se dispone de tres regiones útiles (B, C y D), más otra compuesta por las regiones B y C. La región A es un AGN. Se puede ver en la Figura 5.8 que las regiones están todas a un radio galactocéntrico equivalente, mientras que la SN Ia se encuentra más cerca del centro de la galaxia. El gradiente que se obtiene, no obstante, es bastante plano, lo que favorece la elección de la abundancia de oxígeno, al no presentar una variación radial significativa.

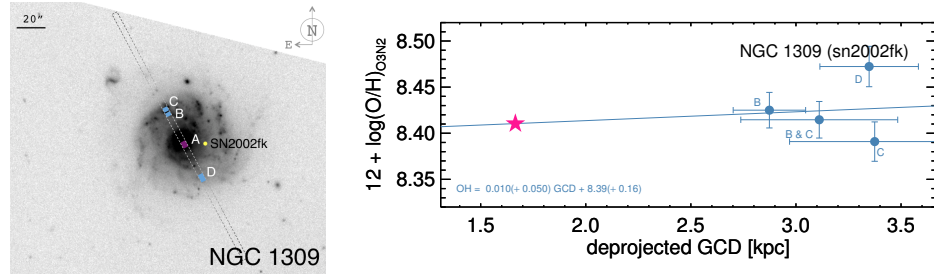


Figura 5.8 Izquierda: Galaxia NGC 1309 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2002fk (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 2935

La región A de NGC 2935 es un AGN. Con las otras tres restantes se ha determinado un gradiente, el cual no se considera preciso (por ser invertido), y por precaución, se le da a la SN1996Z la abundancia de oxígeno de la región D, que es la más cercana. La SN1996Z está muy enrojecida, y es conocida en la literatura por tener una ley de extinción peculiar. Junto con las SN2003cg y SN2006X son las tres supernovas más enrojecidas de esta tesis, y resaltan las tres por las altas abundancia de oxígeno que se obtienen para ellas.

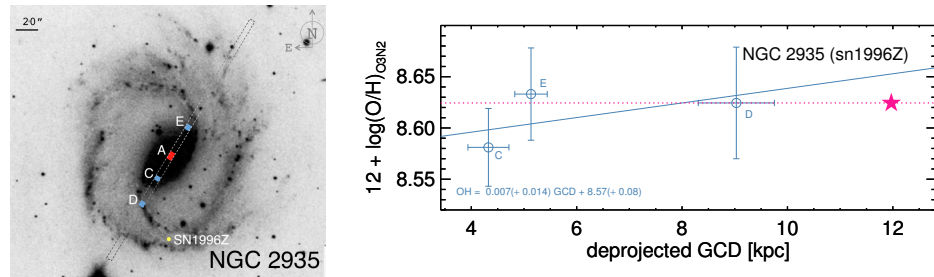


Figura 5.9 Izquierda: Galaxia NGC 2935 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1996Z (estrella rosa), correspondiente a la región más cercana.

NGC 3021

En el caso de la NGC 3021, disponemos de cuatro regiones útiles (B, C, D y E), al no tener líneas de emisión la región A. Se ha obtenido un gradiente consistente con estos cuatro puntos bien repartidos, y a la SN1995al, ubicada entre estas regiones, se le asignado el correspondiente valor marcado por el gradiente.

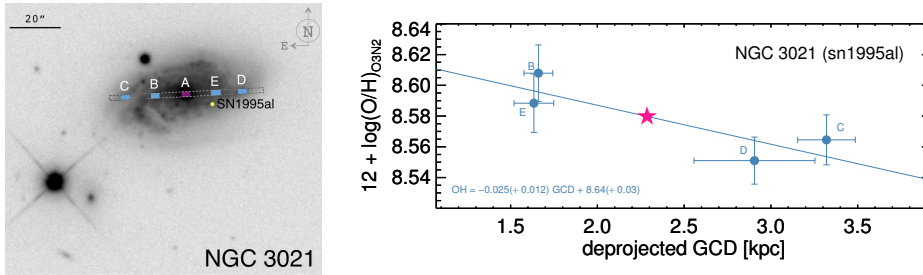


Figura 5.10 Izquierda: Galaxia NGC 3021 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1995al (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 3147

Para la galaxia NGC 3147, se dispone de cuatro regiones (B, C, D, E) con líneas de emisión y una (región A) sin líneas de emisión. Las regiones útiles dan un gradiente invertido poco creíble, lo que fuerza a adoptar para la SN1997bq la abundancia de oxígeno de la región B, siendo ésta una cota superior, dada la distancia (~ 6.5 kpc) que las separa. Sin embargo, como se verá más adelante, se trata de una supernova enrojecida, y no entrará en consideración para los resultados finales de esta tesis.

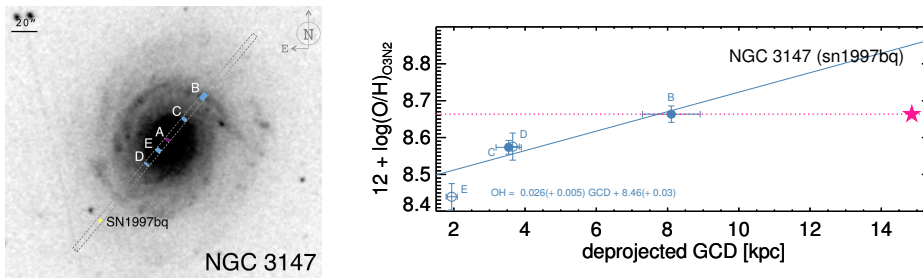


Figura 5.11 Izquierda: Galaxia NGC 3147 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1997bq (estrella rosa), correspondiente a la región más cercana.

NGC 3169

La Figura 5.12 muestra las regiones G y E, con líneas de emisión, empleadas para calcular el gradiente; y la región A, correspondiente al centro galáctico de NGC 3169, sin líneas de emisión. El gradiente obtenido da la abundancia de oxígeno de la SN2003cg. Esta supernova es una de las tres supernovas más enrojecidas en esta tesis, y una de las más representativas de la literatura.

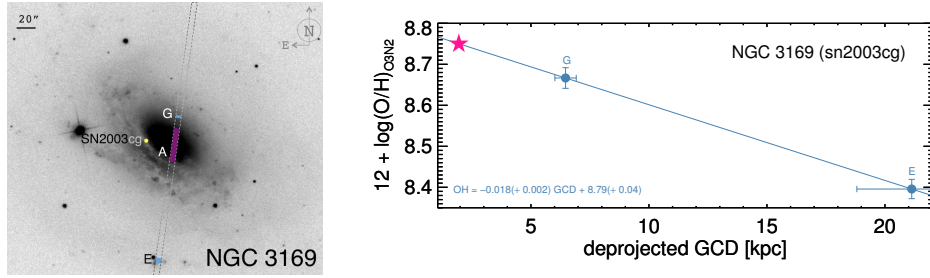


Figura 5.12 Izquierda: Galaxia NGC 3169 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2003cg (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 3368

Con la galaxia NGC 3368 se obtiene un gradiente (a partir de las regiones B y C, puesto que la región A no presenta líneas de emisión) totalmente irreal. Los dos puntos están muy cerca y el gradiente obtenido no es consistente. Tanto las regiones medidas como la SN1998bu están situadas a una distancia similar del centro galáctico, haciendo posible asociar a la SN Ia la abundancia de oxígeno de la región más cercana, inferior a 0.5 kpc.

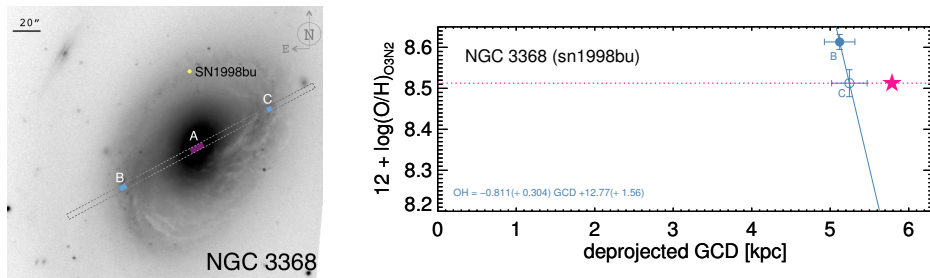


Figura 5.13 Izquierda: Galaxia NGC 3368 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1998bu (estrella rosa), correspondiente a la región más cercana.

NGC 3370

La Figura 5.14 muestra las cinco regiones (B, C, D, E y F) utilizadas para la obtención del gradiente (la región A carecía de líneas). En este caso la variedad de regiones y su distribución radial han favorecido la obtención de un gradiente consistente para la determinación de la abundancia de oxígeno de la SN1994ae.

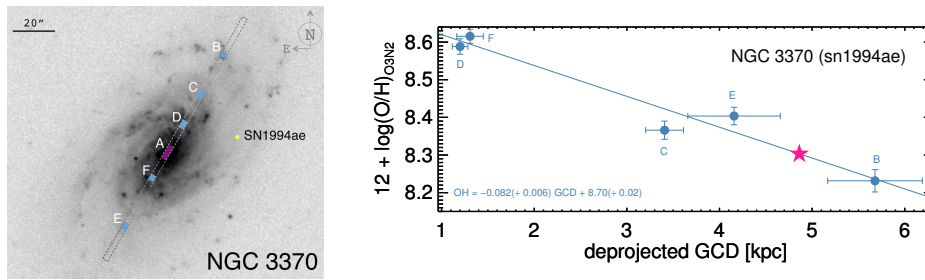


Figura 5.14 Izquierda: Galaxia NGC 3370 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1994ae (estrella rosa), correspondiente al valor dado por gradiente determinado a partir de cinco puntos.

NGC 3672

Son tres las regiones disponibles para la determinación del gradiente en NGC 3672. Dan un gradiente consistente para derivar el valor de abundancia de oxígeno de la SN2997bm.

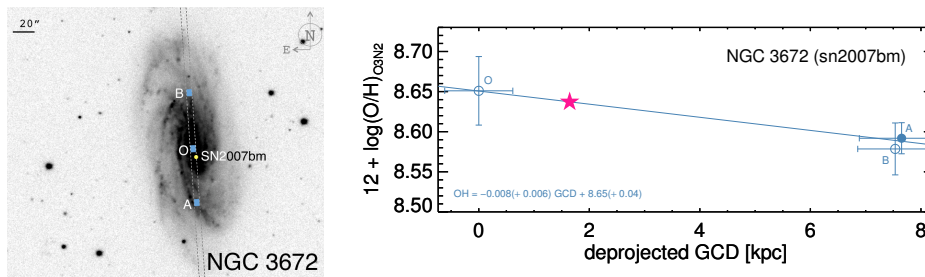


Figura 5.15 Izquierda: Galaxia NGC 3672 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2007bm (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 3982

La galaxia NGC 3982 tiene cinco regiones extraídas. La región A no es útil debido a la carencia de líneas de emisión. Con las otras cuatro regiones restantes se obtiene un gradiente poco preciso, lo que obliga a considerar para la SN1998q la abundancia de oxígeno de la región más cercana (región E), aproximadamente a 1 kpc de distancia. No obstante, se escoge el valor dado por Galbany et al. (2016), que está representado por los círculos rojos en la figura.

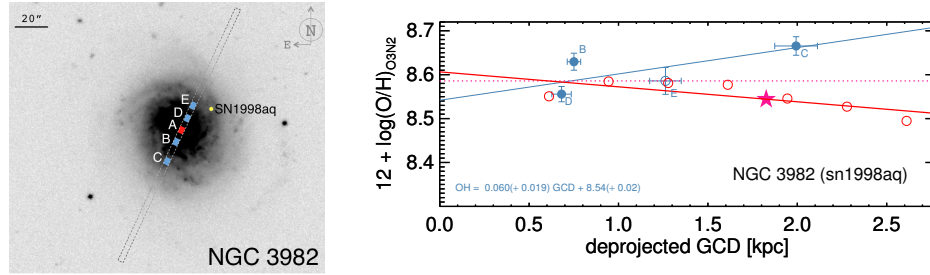


Figura 5.16 Izquierda: Galaxia NGC 3982 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1998aq (estrella rosa), correspondiente al valor dado por Galbany et al. (2016).

NGC 4321

La galaxia NGC 4321 presentaba cuatro regiones. La región A resultó ser una estrella, por lo que se descarta. De las otras tres regiones, la más cercana al centro galáctico, la región C presenta una abundancia de oxígeno significativamente más baja que las demás. Se sabe que la SN2006X está altamente enrojecida, y esta extinción en cierto modo se relaciona con el contenido en metales. Esta galaxia, como NGC 4501, se analizarán con más detalle más adelante.

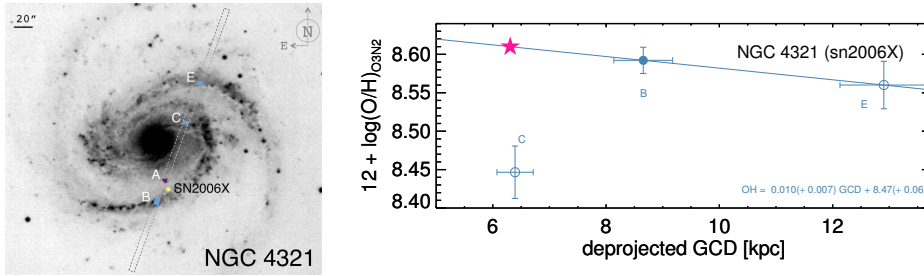


Figura 5.17 Izquierda: Galaxia NGC 4321 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2006X (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 4501

En el caso de la galaxia NGC 4501 se disponen de tres regiones externas y una central, está clasificada como AGN. Con las tres regiones útiles se ha obtenido un gradiente casi plano que determina la abundancia de oxígeno para la SN1999cl. Esta abundancia además coincide prácticamente con la abundancia de oxígeno de la región más cercana (C a menos de 1 kpc de la SN Ia). Esta galaxia, como NGC 4321, se analizarán con más detalle más adelante.

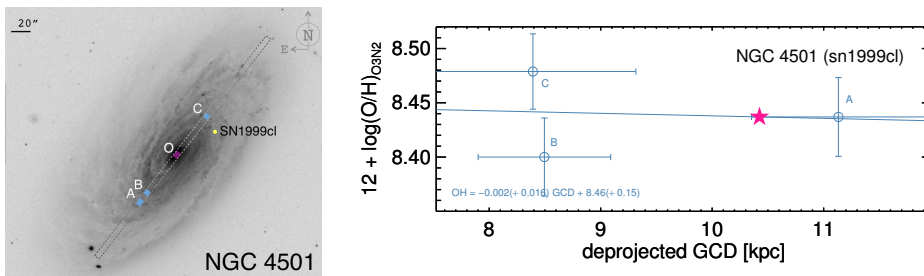


Figura 5.18 Izquierda: Galaxia NGC 4501 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1999cl (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 4527

Son siete las regiones que disponemos para NGC 4527. El análisis de sus abundancias nos da un gradiente muy consistente y robusto para la obtención de la abundancia de oxígeno en la región circundante a la SN1991T.

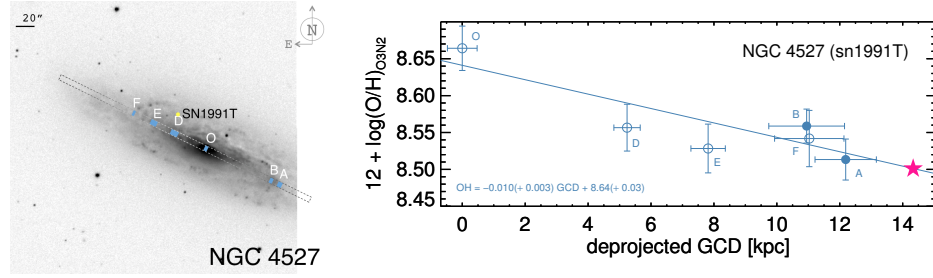


Figura 5.19 Izquierda: Galaxia NGC 4527 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1991T (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 4536

Para NGC 4536 disponemos de cuatro regiones con líneas de emisión. Si se mira la Figura 5.20 nos muestra con los puntos azules rellenos, las abundancia de oxígeno calculadas según OH_{O3N2} , mientras que los puntos vacíos representan aquellas abundancia de oxígeno recuperadas a partir de OH_{N2} . La estrella rosa marca la posición de la supernova y su abundancia de oxígeno, y la línea continua azul representa el gradiente de abundancia de oxígeno de la galaxia. En este caso la abundancia de oxígeno de la SN1981B, ha sido determinada por el gradiente calculado usando los puntos disponibles.

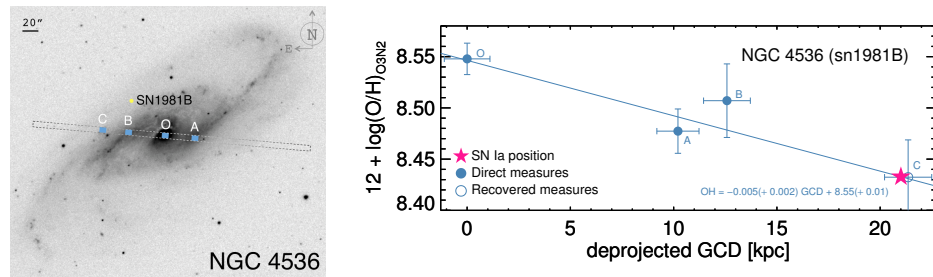


Figura 5.20 Izquierda: Galaxia NGC 4536 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1981B (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 4639

En este caso la región central (O) de NGC 4639 no tenía líneas de emisión, por lo que sólo fue posible calcular un gradiente de abundancia de oxígeno utilizando tres puntos correspondientes a las regiones A, B y C. La abundancia de oxígeno de la SN1990N viene determinada por el gradiente mostrado en la Figura 5.21.

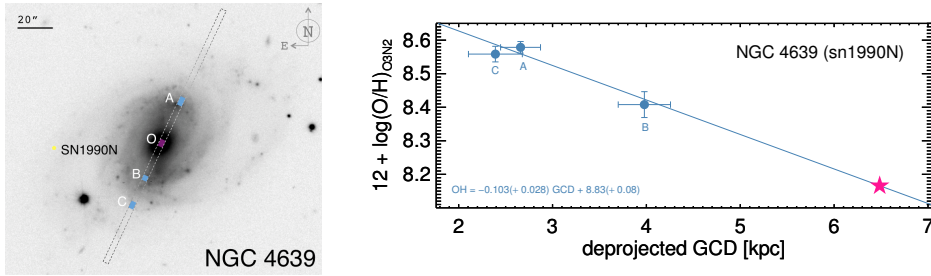


Figura 5.21 Izquierda: Galaxia NGC 4639 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1990N (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 5005

Para NGC 5005 se dispone de dos regiones (ver Figura 5.22), A y B, puesto que C no presenta líneas de emisión. Con estos dos puntos se ha obtenido un gradiente que, si bien es positivo y puede resultar poco consistente, coincide con el valor de la región medida más cercana (región B), situada a unos 0.6 kpc.

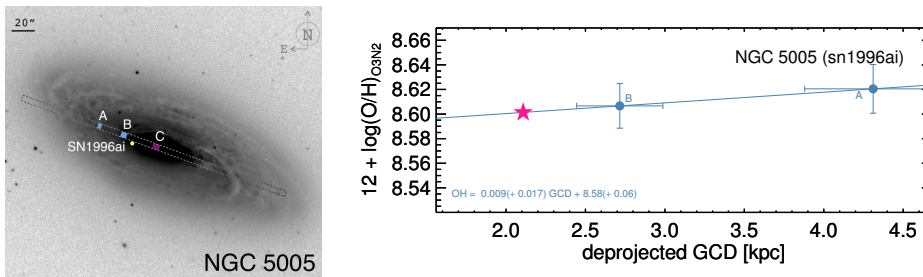


Figura 5.22 Izquierda: Galaxia NGC 5005 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la sn1996ai (estrella rosa), correspondiente al valor determinado por el gradiente.

NGC 5468

En este caso NGC 5468 presenta tres regiones útiles, y se obtiene un gradiente consistente al estar las regiones bien repartidas espacialmente. De este modo, la abundancia de oxígeno para la SN1999cp es la que marca el gradiente, que además presenta gran concordancia con la región más cercana (Figura 5.23).

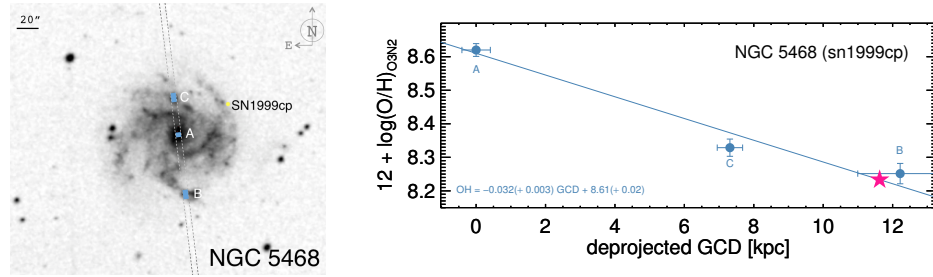


Figura 5.23 Izquierda: Galaxia NGC 5468 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1999cp (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

NGC 5584

La Figura 5.24 muestra las cuatro regiones (A, B, C, D y O) utilizadas para la obtención del gradiente. En este caso la variedad de regiones y su distribución radial han favorecido la obtención de un gradiente consistente para la determinación de la abundancia de oxígeno de la SN1994ae.

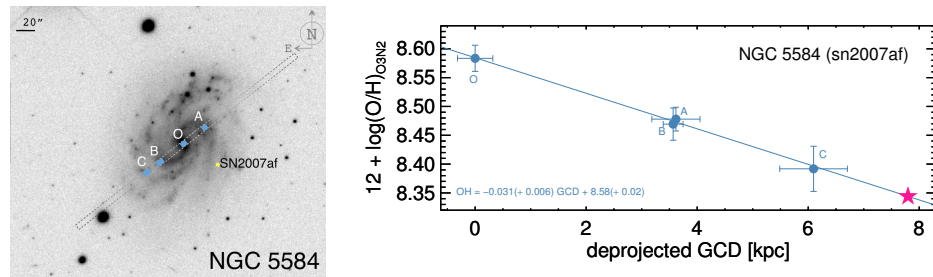


Figura 5.24 Izquierda: Galaxia NGC 5584 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2007af (estrella rosa), correspondiente al valor dado por gradiente determinado a partir de cinco puntos.

UGC 00272

Cuatro son las regiones disponibles para elaborar el gradiente en UGC 00272 (Figura 5.25). Están separadas radialmente, lo que lleva a la determinación de un gradiente significativo para la galaxia y a la determinación de una abundancia de oxígeno para los alrededores de la SN2005hk.

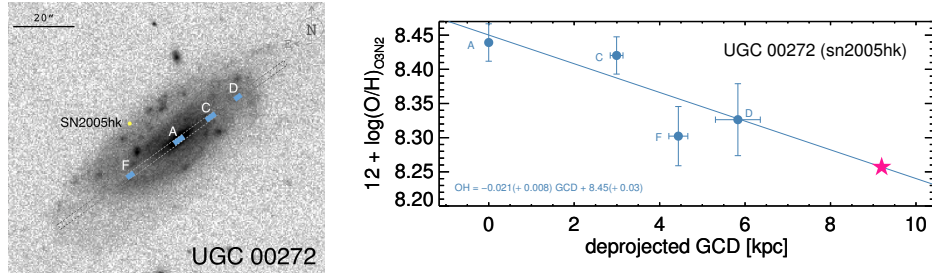


Figura 5.25 Izquierda: Galaxia UGC 00272 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2005hk (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

UGC 03218

La galaxia UGC 3218 presenta tres regiones extraídas. Con estas regiones restantes se obtiene un gradiente consistente casi plano, que además tiene a la misma distancia del centro la SN2006le y la región B, con lo que el valor obtenido del gradiente y el de la región más cercana sean muy similares.

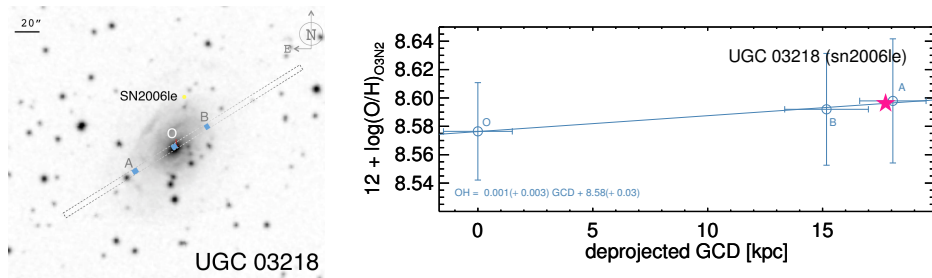


Figura 5.26 Izquierda: Galaxia UGC 03218 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2006le (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente, que coincide con aquel proporcionado por la región más cercana.

UGC 03576

En la galaxia NGC 03576 se han medido tres regiones, de manera que se ha determinado un gradiente para calcular la abundancia de oxígeno de la SN1998ec. Además, como la posición de la SN Ia está cerca de la región C (menos de 1.5 kpc, ver Figura 5.27), y la pendiente del gradiente no es muy pronunciada, las abundancia de oxígeno en la SN Ia y de las regiones son prácticamente equivalentes.

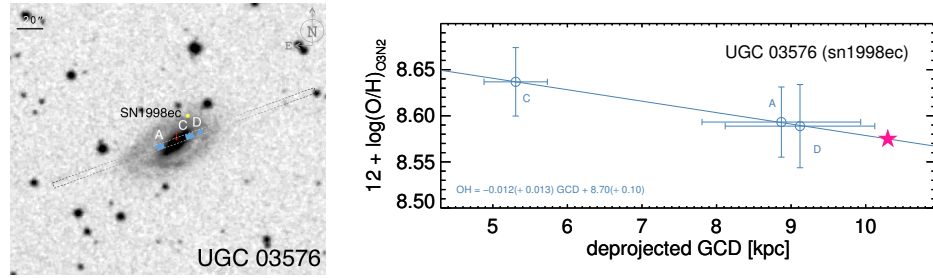


Figura 5.27 Izquierda: Galaxia UGC 03576 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1998ec (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

UGC 03845

La Figura 5.28 muestra las dos regiones medidas para UGC 03845, así como el gradiente obtenido. Aunque sólo son dos puntos, la abundancia de oxígeno calculada para la SN1997do es consistente con la de la cercana región A, situada a menos de 1 kpc de distancia.

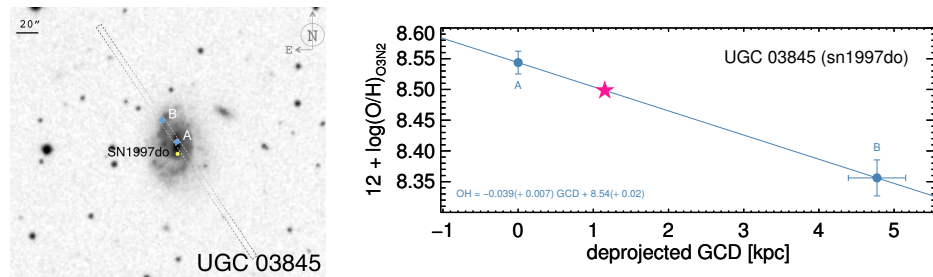


Figura 5.28 Izquierda: Galaxia UGC 03845 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1997do (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

UGC 04195

Para la galaxia UGC 04195 (Figura 5.29) sólo se dispone de una región con la abundancia de oxígeno calculada, así pues, para la posición de la SN2000ce se tendría que seleccionar esta abundancia de oxígeno. Están alejadas unos 8 kpc, por lo que se trata de un límite superior al valor real de la abundancia de oxígeno en la localización de la supernova. No obstante, finalmente se escoge el valor dado por Galbany et al. (2016), que está representado por los círculos rojos en la figura.

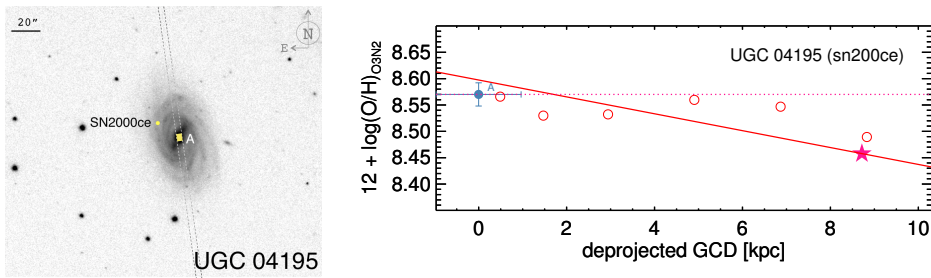


Figura 5.29 Izquierda: Galaxia UGC 04195 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Valor de abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2000ce (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente de Galbany et al. (2016).

UGC 09391

En esta galaxia el gradiente está bien determinado, al disponerse de cuatro regiones bien repartidas a lo largo de UGC 09391, obteniéndose una abundancia de oxígeno razonable para la SN2003du (Fig. 5.30).

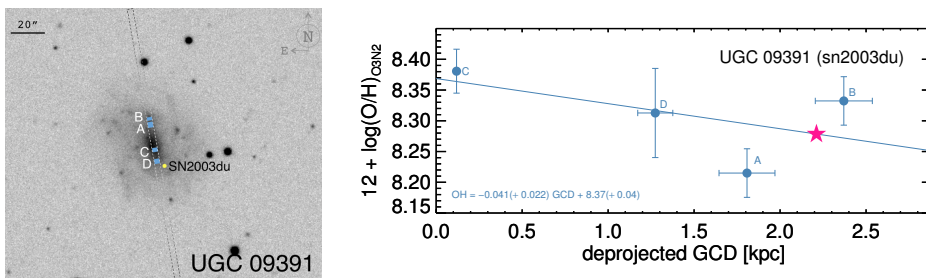


Figura 5.30 Izquierda: Galaxia UGC 09391 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Valor de abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN2003du (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

UGCA 017

Por último, en UGCA 017 se han medido cinco regiones, que dan lugar a un gradiente consistente, y que otorga una abundancia de oxígeno coherente a la región en la que la SN1998dm explotó (Fig. 5.31).

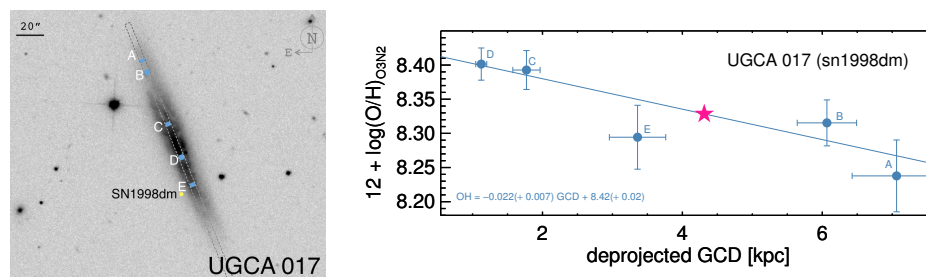


Figura 5.31 Izquierda: Galaxia UGCA 017 con el diagrama de la rendija y las regiones con gas ionizado. Derecha: Valor de abundancia de oxígeno asociada a la región de la SN1998dm (estrella rosa), correspondiente al valor dado por el gradiente.

Es importante volver a remarcar que estamos asumiendo un único gradiente para cada galaxia. En otras palabras, la orientación de la rendija no es significativa, ya que el gradiente es el mismo en cualquier dirección radial. No hay muchos trabajos que estudien las posibles variaciones azimutales (Sánchez et al., 2015), excepto cuando se observan interacciones entre galaxias (por ejemplo López-Sánchez y Esteban, 2009; Bresolin et al., 2012; López-Sánchez et al., 2015). Las variaciones azimutales de abundancia de oxígeno podrían deberse a las barras, que provocarían un movimiento no simétrico del gas creando zonas con diferentes abundancias elementales incluso estando localizadas a la misma GCD, o al efecto de la propia barra espiral que generaría sobredensidades y aumentos de presión en ciertas zonas anejas a la misma. Este interesante tema se estudia basado en las observaciones de los actuales programas de Espectroscopía de Campo Integral (IFS) (Sánchez-Blázquez et al., 2014; Sánchez et al., 2014), ya que estos permiten este tipo de análisis, que queda fuera del alcance de este trabajo.

En la Tabla 5.2 se compilan los valores de abundancia de oxígeno obtenidos a partir del gradiente, los valores de abundancia de oxígeno de la región más cercana, y los valores de abundancia de oxígeno adoptados para la posición de cada SN Ia en su galaxia anfitriona. Se encuentra una diferencia típica de ~ 0.05 dex, más pequeña que el error medio en la determinación de abundancias (~ 0.10), al comparar las abundancias de oxígeno obtenidas mediante ambos métodos (Figura 5.32). Un ajuste lineal a los datos, con una correlación lineal de $r = 0.8947$, proporciona una pendiente de 0.915 ± 0.054 . Finalmente, con estos dos métodos obtenemos las abundancias de oxígeno para la muestra de las 28 galaxias. Hay que tener en cuenta que si se usa el OH de la región más cercana, dada la existencia probada de los gradientes

Tabla 5.2 Abundancias determinadas para las regiones en las que se detectaron las SNs Ia. † refleja valores procedentes de gradientes obtenidos en Galbany et al. (2016).

Galaxia	SN Ia	$\text{OH}_{\text{gradiente}}$	$\text{OH}_{\text{cercana}}$	OH_{final}
M 82	2014J	8.59 ± 0.15	8.58 ± 0.01	8.59 ± 0.15
MCG-02-16-02	2003kf	8.38 ± 0.14	8.44 ± 0.06	8.38 ± 0.14
NGC 0105	1997cw	$8.46 \pm 0.08^\dagger$	8.38 ± 0.02	8.46 ± 0.08
NGC 1275	2005mz	...	8.54 ± 0.01	8.54 ± 0.01
NGC 1309	2002fk	8.41 ± 0.19	8.29 ± 0.04	8.41 ± 0.19
UGC 3218	2006le	8.59 ± 0.09	8.59 ± 0.05	8.59 ± 0.09
NGC 2935	1996Z	...	8.62 ± 0.05	8.62 ± 0.05
NGC 3021	1995al	8.57 ± 0.05	8.55 ± 0.01	8.57 ± 0.05
NGC 3147	1997bq	...	8.66 ± 0.02	8.66 ± 0.02
NGC 3169	2003cg	8.75 ± 0.06	8.66 ± 0.02	8.75 ± 0.06
NGC 3368	1998bu	...	8.51 ± 0.03	8.51 ± 0.03
NGC 3370	1994ae	8.30 ± 0.08	8.23 ± 0.02	8.30 ± 0.08
NGC 3672	2007bm	8.63 ± 0.07	8.65 ± 0.05	8.63 ± 0.07
NGC 3982	1998aq	$8.54 \pm 0.05^\dagger$	8.58 ± 0.05	8.54 ± 0.05
NGC 4321	2006X	8.60 ± 0.12	8.59 ± 0.01	8.60 ± 0.12
NGC 4501	1999cl	8.43 ± 0.22	8.43 ± 0.03	8.43 ± 0.22
NGC 4527	1991T	8.50 ± 0.08	8.54 ± 0.05	8.50 ± 0.08
NGC 4536	1981B	8.43 ± 0.06	8.43 ± 0.06	8.43 ± 0.06
NGC 4639	1990N	8.16 ± 0.20	8.40 ± 0.03	8.16 ± 0.20
NGC 5005	1996ai	8.60 ± 0.08	8.60 ± 0.01	8.60 ± 0.08
NGC 5468	1999cp	8.23 ± 0.08	8.32 ± 0.02	8.23 ± 0.08
NGC 5584	2007af	8.34 ± 0.08	8.47 ± 0.02	8.34 ± 0.08
UGC 00272	2005hk	8.25 ± 0.12	8.30 ± 0.04	8.25 ± 0.12
UGC 03576	1998ec	8.57 ± 0.16	8.58 ± 0.06	8.57 ± 0.16
UGC 03845	1997do	8.49 ± 0.04	8.54 ± 0.01	8.49 ± 0.04
UGC 04195	2000ce	$8.46 \pm 0.05^\dagger$	8.57 ± 0.02	8.46 ± 0.05
UGC 09391	2003du	8.27 ± 0.10	8.31 ± 0.07	8.27 ± 0.10
UGCA 017	1998dm	8.32 ± 0.07	8.29 ± 0.04	8.32 ± 0.07

de abundancia, el valor será un límite inferior o superior dependiendo de si la SN está localizada más cerca o más lejos, respectivamente, de la citada región.

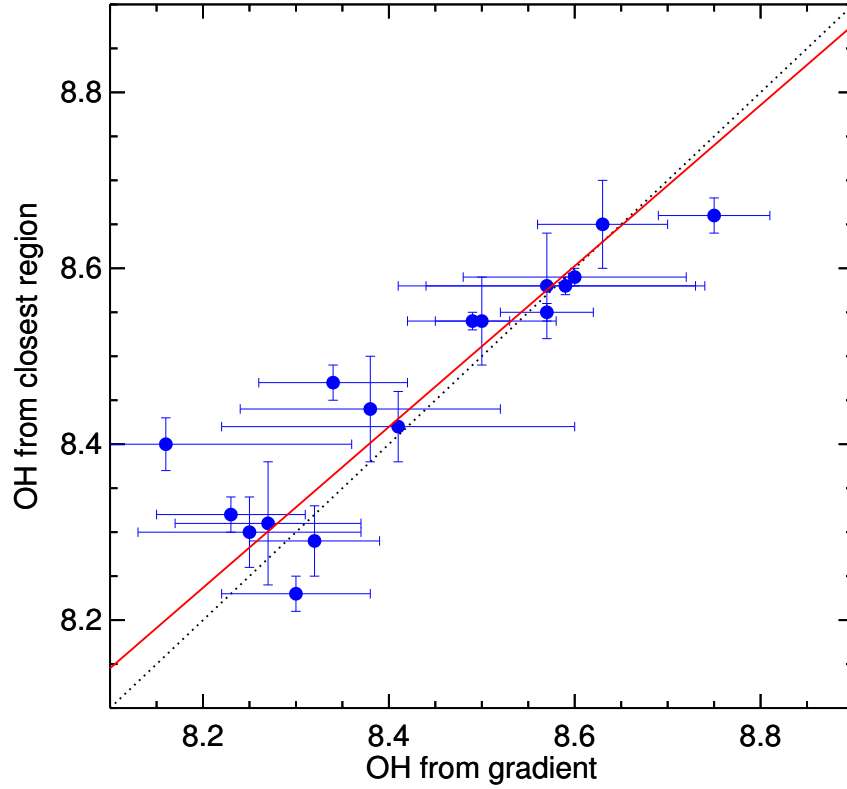


Figura 5.32 Abundancias de oxígeno de la región más cercana comparadas con las obtenidas con el gradiente radial de abundancia de oxígeno.

5.5.1. Comparación con otros resultados

Las abundancias de oxígeno para dos galaxias de la muestra, NGC 4321 y NGC 4501 fueron estudiadas por Pilyugin et al. (2002) utilizando los parámetros P y R_{23} y las calibraciones empíricas proporcionadas por Pilyugin (2001). La Figura 5.33 compara los gradientes obtenidos para estas galaxias por estos autores y en este trabajo. Puede verse que las abundancias dadas por Pilyugin et al. (2002) son sistemáticamente más altas. Tal diferencia se debe principalmente al uso de distintas calibraciones empíricas. De hecho, las nuevas calibraciones dadas en Marino et al. (2013) hacen muy difícil obtener abundancia de oxígeno por encima de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) > 8.7$, valores fácilmente alcanzables con la calibración de Pilyugin (2001). Además, se ha

hecho una búsqueda de las líneas utilizadas por estos autores, obtenidas de McCall et al. (1985); Shields et al. (1991); Skillman et al. (1996). Se han aplicado a estas líneas la calibración de MAR13, y se han determinado unos valores que son más consistentes con los obtenidos en este trabajo, lo que pone de manifiesto que la discrepancia radica en la calibración elegida. En la Figura 5.33 estos valores vienen representados por círculos rojos, siendo la línea punteada roja el ajuste a tales puntos.

Por otra parte, hay tres galaxias para las que no se ha obtenido gradiente de abundancia de oxígeno (NGC 0105, NGC 3982 y UGC 04195) que han sido recientemente observadas como parte del programa CALIFA. El análisis de estos datos, que está presentado en Galbany et al. (2016) proporciona un gradiente de abundancia de oxígeno para cada una de estas galaxias hecho a partir de aproximadamente 1000 espectros cada uno. Para estas tres galaxias se adoptan los valores obtenidos por Galbany et al. (2016), ya que proporcionan mayor robustez al proceder de un gradiente bien definido.

5.6. Parámetros de las curvas de luz de las SNe Ia

Hemos recogido datos de las LC de las SNe Ia de diferentes fuentes (listadas en la Tabla 5.3). Estos datos han sido ajustados con el código SiFTO (Conley et al., 2008) para obtener la magnitud aparente en B en el máximo (y ya corregida por la extinción de la Vía Láctea), anchura de la LC (*stretch*) y el color C . SiFTO es un poderoso y versátil programa de ajuste de LC que manipula patrones espectrales para ajustar simultáneamente datos de fotometría multi-banda de una SN Ia particular con un cierto redshift heliocéntrico z_{hel} ². Un stretch $s = 1$, que se calcula para la banda B , indica la normalidad de la LC. El color, C , se obtiene ajustando la distribución espectral de energía a los colores observados corregidos por extinción de la MW con los valores de Schlafly y Finkbeiner (2011).

Hacemos una clasificación de las SNe Ia en base a su color, C : si $C < 0.2$, se consideran normales; si $C > 0.2$, se consideran SNe Ia enrojecidas. Si tienen $C < 0.2$ pero presentan una luminosidad extremadamente baja, se consideran SNe Ia subluminosas. Para los análisis a partir de este punto, las SNe Ia subluminosas no se tienen en cuenta en el estudio, ya que su comportamiento no puede ser explicado como el resto de SNe Ia normales o enrojecidas.

²Los movimientos rotacional y orbital de La Tierra han sido eliminados de la medida de la velocidad.

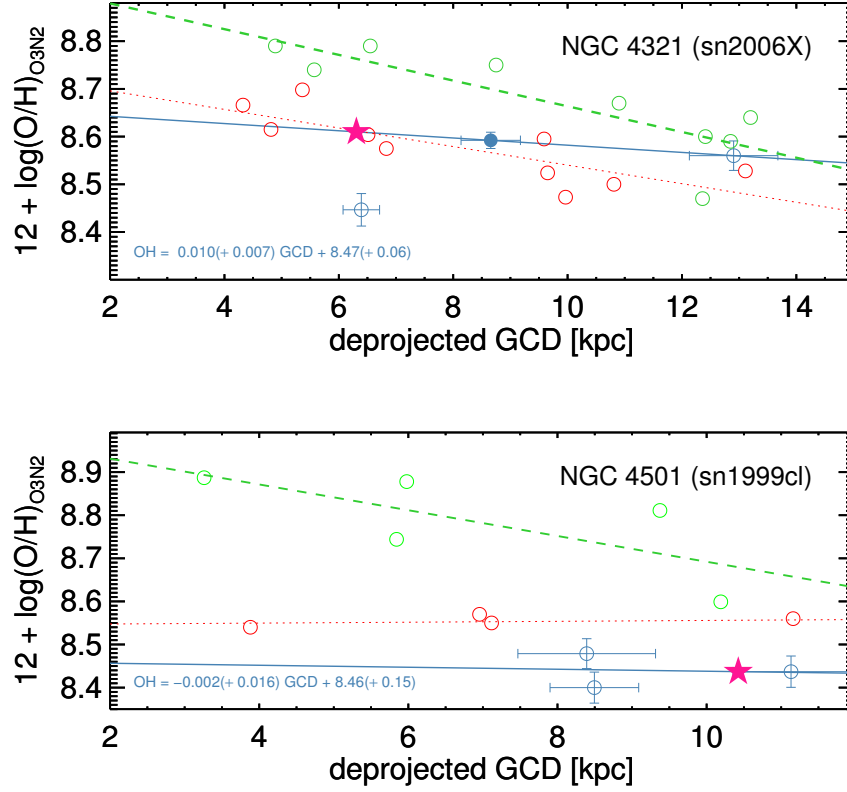


Figura 5.33 Gradientes de abundancia para NGC 4321 (a) y NGC 4501 (b) comparados con Pilyugin et al. (2002). Los símbolos son los mismos que en la Fig. 5.20, excepto por los círculos verdes, que representan los valores de Pilyugin et al. (2002) y la línea discontinua verde, que representa el gradiente que estos autores encuentran; y los círculos rojos, que representan las abundancias obtenidas con la calibración de MAR13 utilizando las líneas empleadas en Pilyugin et al. (2002), y la línea punteada roja, que es el ajuste a dichos datos.

Tabla 5.3 Parámetros de las SNe Ia.

Galaxia	SN Ia	M_B	OH	s	C	Fuente
M 82	2014J	-19.19 ± 0.12	8.58 ± 0.01	...	...	Foley et al. (2014); Marion et al. (2015); Tsvetkov et al. (2014)
MCG-02-16-02	2003kf	-18.49 ± 0.15	8.44 ± 0.06	1.046 ± 0.016	-0.047 ± 0.018	Hicken et al. (2009)
NGC 0105	1997cw	-18.05 ± 0.38	8.38 ± 0.02	1.105 ± 0.031	0.345 ± 0.024	Jha et al. (2006)
NGC 1275	2005mz	-17.52 ± 0.27	8.54 ± 0.01	...	...	Hicken et al. (2009)
NGC 1309	2002fk	-19.20 ± 0.07	8.41 ± 0.04	1.010 ± 0.006	-0.125 ± 0.009	Hicken et al. (2009)
NGC 2935	1996Z	-17.93 ± 0.26	8.62 ± 0.05	0.915 ± 0.085	0.315 ± 0.023	Riess et al. (1999)
NGC 3021	1995al	-18.78 ± 0.16	8.55 ± 0.01	1.074 ± 0.025	0.096 ± 0.020	Riess et al. (1999)
NGC 3147	1997bq	-18.73 ± 0.10	8.66 ± 0.02	0.917 ± 0.010	0.079 ± 0.018	Jha et al. (2006)
NGC 3169	2003cg	-15.37 ± 0.37	8.66 ± 0.02	0.984 ± 0.004	1.185 ± 0.007	Elias-Rosa et al. (2006); Ganeshalingam et al. (2010); Hicken et al. (2009)
NGC 3368	1998bu	-18.09 ± 0.19	8.51 ± 0.03	0.973 ± 0.009	0.266 ± 0.009	Suntzeff et al. (1999)
NGC 3370	1994ae	-19.24 ± 0.15	8.23 ± 0.02	1.054 ± 0.008	-0.079 ± 0.013	Altavilla et al. (2004); Riess et al. (2005)
NGC 3672	2007bm	-17.31 ± 0.17	8.65 ± 0.05	0.923 ± 0.014	0.474 ± 0.013	Hicken et al. (2009); Stritzinger et al. (2011)
NGC 3982	1998aq	-19.35 ± 0.08	8.58 ± 0.05	0.986 ± 0.005	-0.134 ± 0.008	Riess et al. (2005)
NGC 4321	2006X	-15.72 ± 0.27	8.59 ± 0.01	0.987 ± 0.005	...	Ganeshalingam et al. (2010)
NGC 4501	1999cl	-16.71 ± 0.34	8.43 ± 0.03	0.939 ± 0.008	1.128 ± 0.009	Ganeshalingam et al. (2010); Jha et al. (2006); Krisciunas et al. (2006)
NGC 4527	1991T	-19.26 ± 0.22	8.54 ± 0.05	1.068 ± 0.011	0.049 ± 0.020	Altavilla et al. (2004); Ford et al. (1993); Lira et al. (1998)
NGC 4536	1981B	-18.89 ± 0.24	8.43 ± 0.06	...	...	...
NGC 4639	1990N	-19.04 ± 0.20	8.40 ± 0.03	1.064 ± 0.008	0.020 ± 0.011	Lira et al. (1998)
NGC 5005	1996ai	-14.92 ± 0.19	8.60 ± 0.01	1.097 ± 0.024	1.676 ± 0.014	Riess et al. (1999)
NGC 5468	1999cp	-19.14 ± 0.13	8.32 ± 0.02	0.994 ± 0.006	-0.047 ± 0.007	Ganeshalingam et al. (2010); Krisciunas et al. (2000)
NGC 5584	2007af	-18.77 ± 0.12	8.47 ± 0.02	0.952 ± 0.006	...	Hicken et al. (2009); Stritzinger et al. (2011)
UGC 00272	2005hk	-17.96 ± 0.13	8.30 ± 0.04	0.886 ± 0.004	0.250 ± 0.008	Hicken et al. (2009); McCully et al. (2014); Phillips et al. (2007)
UGC 03218	2006le	-19.06 ± 0.28	8.59 ± 0.05	1.079 ± 0.007	-0.088 ± 0.019	Hicken et al. (2009)
UGC 03576	1998ec	-18.54 ± 0.23	8.58 ± 0.06	0.997 ± 0.033	0.173 ± 0.022	Ganeshalingam et al. (2010); Jha et al. (2006)
UGC 03845	1997do	-18.66 ± 0.10	8.54 ± 0.01	0.975 ± 0.020	0.017 ± 0.020	Jha et al. (2006)
UGC 04195	2000ce	-17.42 ± 0.07	8.57 ± 0.02	1.038 ± 0.026	0.493 ± 0.017	Jha et al. (2006); Krisciunas et al. (2001)
UGC 09391	2003du	-19.04 ± 0.10	8.31 ± 0.07	1.022 ± 0.004	-0.110 ± 0.007	Anupama et al. (2005); Hicken et al. (2009); Leonard et al. (2005)
UGCA 017	1998dm	-18.79 ± 0.36	8.29 ± 0.04	1.044 ± 0.006	0.262 ± 0.009	Ganeshalingam et al. (2010); Jha et al. (2006)

5.7. Determinación de la magnitud absoluta, M_B , de las supernovas

Utilizando las distancias, a las galaxias (Capítulo 4), considerando indicadores de distancia independientes a los métodos de SN Ia, y las magnitudes aparentes m_B determinadas con SiFTO, se calculan las magnitudes absolutas M_B utilizando

$$M_B = m_{B,corr} + 5 - 5 \times \log(D), \quad (5.4)$$

donde la distancia D viene expresada en pc.

Hay que recordar que la m_B que proporciona SiFTO está corregida de extinción de la Vía Láctea. Cualquier contribución de la extinción de la galaxia anfitriona así como variaciones intrínsecas del color se pueden considerar incluidos dentro del parámetro C . En realidad, corregir por extinción de la galaxia anfitriona es un asunto complicado y es motivo de debate, especialmente en los estudios cosmológicos de SN, debido a la dificultad que entraña el cálculo de sus magnitudes. Se tienen que dar por sentados varios aspectos para obtener resultados apropiados, como asumir leyes de extinción muy diferentes al valor estándar de $R_V = 3.1$ de la Vía Láctea. Sin embargo, si la SN se sitúa en las partes externas de su galaxia anfitriona, la extinción de ésta es probablemente lo suficientemente pequeña como para ser considerada despreciable (Galbany et al., 2012).

5.8. Relación entre la luminosidad de las SN Ia y la abundancia de oxígeno

En la Figura 5.34 se representan las magnitudes absolutas de las SN Ia, M_B en función de las abundancias de oxígeno, OH_{O3N2} . A la vista esta figura sugiere que las SNe Ia localizadas en entornos más metálicos, es decir, en galaxias más ricas en oxígeno, son menos luminosas que las SNe Ia en galaxias pobres en metales. La Figura 5.35 muestra esto mismo, pero considerando únicamente las SNe Ia clasificadas como *normales*, donde se ha hecho un ajuste polinómico de segundo orden. Se ha estudiado la bondad del ajuste por medio de un test χ^2 . Los errores tanto en magnitudes como en abundancia de oxígeno son relativamente grandes: las incertidumbres medias en el cálculo de M_B son alrededor de ± 0.15 mag, mientras que para la abundancia de oxígeno, OH_{O3N2} , el error típico es de ± 0.08 dex, mientras que las magnitudes y abundancias están dentro de un rango de 0.55 mag y 0.50 dex, respectivamente. Debido a esto se han realizado 10^6 variaciones aleatorias de los valores siguiendo una distribución gaussiana para cada uno de los errores en ambos ejes. En cada interacción se ha ajustado un polinomio de segundo grado y calculado el χ^2 del ajuste. Hemos buscado el valor mínimo de este conjunto de ajustes, el cual confirma que la relación encontrada presenta un

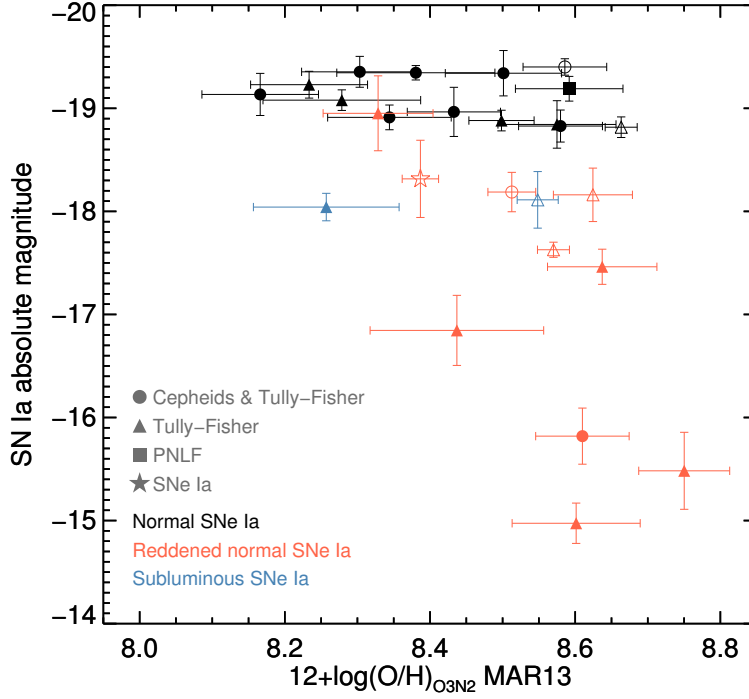


Figura 5.34 Magnitud absoluta de las SNe Ia, M_B , en función de las abundancias de oxígeno, OH_{O3N2} . Los símbolos rellenos y huecos hacen referencia a objetos con abundancias estimadas mediante los procedimientos del gradiente, y de la región más cercana, respectivamente. Los triángulos, cuadrados y círculos indican el método utilizado para derivar las distancias: Tully-Fisher, Función de Luminosidad de Nebulosa Planetaria (PNLF), y promedio entre Tully-Fisher y Cefeidas, respectivamente. El color indica el tipo de SN Ia: negro (normal), rojo (enrojecida) y azul (subluminosa, que no se han tenido en cuenta para el análisis).

80% de probabilidad de no producirse de manera aleatoria.

Se han dividido también las galaxias en cuatro bins de abundancia de oxígeno: $x < 8.2$, $8.2 < x < 8.4$, $8.4 < x < 8.6$, $x > 8.6$, siendo $x = \text{OH}_{\text{O3N2}}$. La línea púrpura en la Figura 5.35 se corresponde con un ajuste polinómico de segundo orden a los valores medios obtenidos en cada uno de los cuatro bins. Este ajuste concuerda con el obtenido en base a todos los puntos. Por otra parte, dividiendo las abundancias en dos regímenes, uno de baja abundancia de oxígeno: $\text{OH}_{\text{O3N2}} < 8.4$; y otro de alta abundancia de oxígeno: $\text{OH}_{\text{O3N2}} > 8.4$ se encuentra una diferencia de 0.14 ± 0.10 mag en M_B (líneas azul y roja en la Figura 5.35), siendo las galaxias más ricas en metales las que albergan SNe Ia menos luminosas.

La dependencia encontrada sigue la siguiente ecuación:

$$M_B = 1.3(\pm 0.2) \times \text{OH}^2 - 20.7(\pm 3.4) \times \text{OH} + 65(\pm 14) \quad (5.5)$$

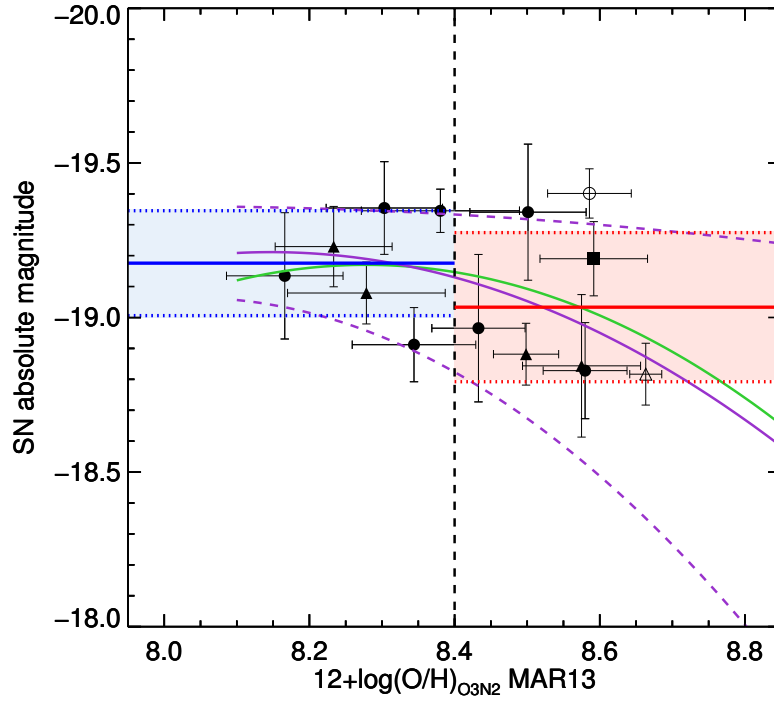


Figura 5.35 Misma figura que la Figura 5.34 teniendo en cuenta únicamente las SNe Ia normales. La línea continua verde es un ajuste polinómico de segundo orden a los datos. La línea continua púrpura es un ajuste polinómico de segundo orden a cuatro bins de abundancia de oxígeno (ver texto). Las líneas discontinuas púrpuras representa la incertidumbre a $1-\sigma$ del ajuste. Las regiones azul y roja nos proporcionan los valores promedio con un intervalo de confianza de $1-\sigma$ de las abundancias de oxígeno en los regímenes de baja y alta abundancia de oxígeno, indicado con las líneas continuas azul y roja.

De hecho, una diferencia en las magnitudes debida a un hipotético efecto de la abundancia de oxígeno sobre la luminosidad de las SNe Ia ya había sido teóricamente predicha, tal y como se describe en el Capítulo 1. Teniendo en cuenta las Ecuaciones 1.1, 1.3 y 1.4, $L \propto f(Z)$, y $M_{bol} = -2.5 \log L \sim -2.5 \log[f(Z)]$. Asumiendo que estas ecuaciones son también válidas en la banda B, se puede obtener la diferencia entre la magnitud M_B de un sistema con abundancia de oxígeno solar y la correspondiente $M_{B,Z}$ para cualquier otro valor de Z utilizando las funciones $f(Z)$ dadas en la Ecuaciones 1.3 y 1.4. Con esto, se define una magnitud dependiente de la abundancia de oxígeno:

$$M_B(Z) = M_{B,Z_\odot} + \Delta M_B(Z) \text{ mag}, \quad (5.6)$$

donde el término $\Delta M_B(Z)$ produce un salto en el valor esperado de M_B que corresponde a Z_\odot . A partir de las Ecuaciones 1.3 y 1.4

$$\Delta M_B(Z) = -2.5 \log \left[1 - 0.075 \frac{Z}{Z_\odot} \right] - 0.0846 \text{ mag}, \quad (5.7)$$

y

$$\Delta M_B(Z) = -2.5 \log \left[1 - 0.18 \frac{Z}{Z_\odot} \right] - 0.10 \frac{Z}{Z_\odot} - 0.191 \text{ mag}. \quad (5.8)$$

Los términos 0.0846 y 0.191 mag han sido introducidos para normalizar las ecuaciones de manera que $\Delta M_B(Z_\odot) = 0$. Realmente, representan la diferencia en la magnitud entre dos objetos con $Z = 0$ y $Z = Z_\odot$. Como se puede ver, el orden de magnitud de estas variaciones, ~ 0.10 – 0.20 mag, está en acuerdo con la diferencia observacional encontrada de $\sim 0.14 \pm 0.10$ mag entre los regímenes de baja y alta abundancia de oxígeno. De hecho la diferencia si las abundancias de oxígeno son $\text{OH}=8.0$ y $\text{OH}=8.7$ (valor solar), serán de: $\Delta M_{B,Z} = 0.068$ y 0.15 mag, según se utilicen las Ecuaciones 5.7 o 5.8.

5.9. Efecto del color en la relación $M_B - Z$

Esta dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la abundancia de oxígeno se podría atribuir a la corrección del color, un término incluido en los modelos cosmológicos que estiman el módulo de distancia (e implícitamente en la determinación de la magnitud absoluta M_B de cada SN Ia). De hecho el color de las SNe Ia presenta una dependencia con la abundancia de oxígeno, tal y como puede verse en la Figura 5.39.

Por otra parte podemos representar los residuos de M_B al ajuste realizado en la Figura 5.35 en función del color de las SNe Ia, y comprobar así si

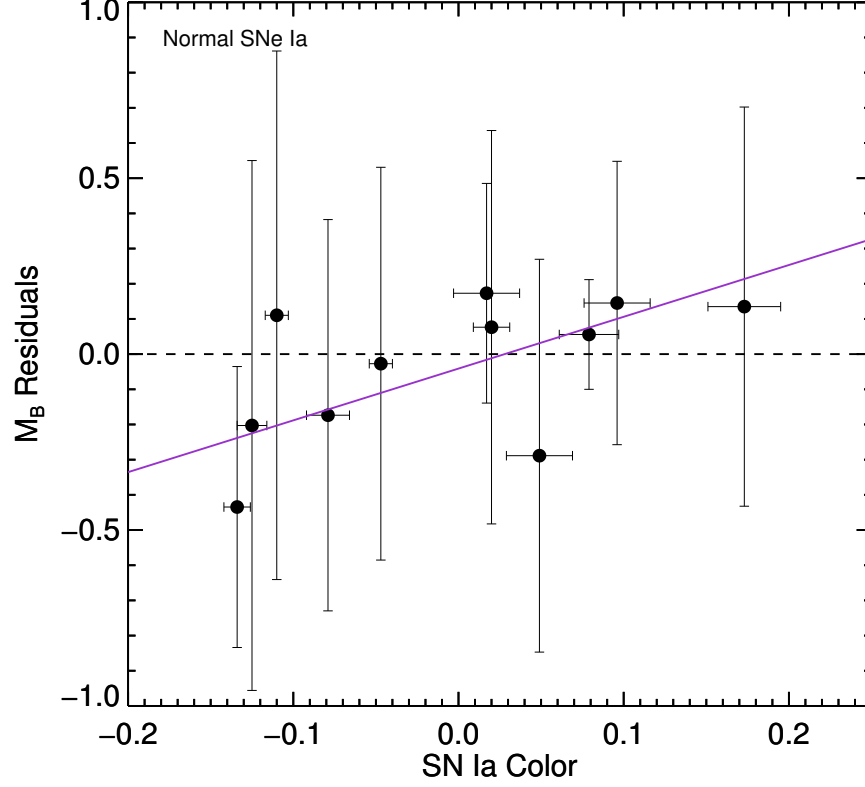


Figura 5.36 Residuos de M_B obtenidos del ajuste obtenido en la Figura 5.35 en función del color de las SNe Ia. La línea discontinua marca la ausencia de residuos. La línea continua púrpura representa el ajuste de mínimos cuadrados a los puntos.

aún queda una dependencia con el color que no haya sido incluida en dicha correlación. Esto se muestra en la Figura 5.36 en la que hacemos un ajuste lineal con la ecuación:

$$\Delta M_B = -0.04 (\pm 0.12) + 1.47 (\pm 1.42) \times Color \quad (5.9)$$

Este ajuste presenta un coeficiente de correlación lineal $r = 0.51537$, lo que implica que, considerando además los errores de los parámetros del ajuste, la no correlación es igualmente válida, por tanto esta correlación es estadísticamente insignificante. Esto era de esperar puesto que elegimos la muestra con las SNe Ia no enrojecidas $C < 0.2$, por lo que no debería haber una dependencia con este parámetro.

Esto está de acuerdo con lo que Childress et al. (2013) exponen, que la dependencia con el color no es suficiente para explicar la correlación que se muestra en la Figura 5.35, de manera que aún eliminando la dependencia con el color sigue existiendo esa dependencia de M_B con la abundancia de

oxígeno.

Se puede concluir, siguiendo el hilo expuesto hasta ahora, que existe una relación entre la magnitud absoluta de las SNe Ia, M_B , con la abundancia de oxígeno de sus galaxias anfitrionas. Las galaxias ricas en metales albergan SNe Ia menos luminosas que las galaxias poco metálicas; y esta dependencia no está incluida en el término del color cuando se obtiene el módulo de la distancia de las SNe Ia con los métodos cosmológicos anteriormente expuestos.

5.10. Matriz de covarianza: $M_B - C - \text{OH} - s$

En la Sección 5.8 se ha discutido la dependencia de la metalicidad de la M_B solamente para SNe Ia no enrojecidas ($C < 0.2$) para evitar sesgos con el color de las SNe Ia. Hemos encontrado una dependencia de M_B con OH_{O3N2} , en el sentido de que galaxias más ricas en metales albergan SNe Ia menos luminosas que las galaxias poco metálicas, en las que las SNe Ia son más brillantes. Ahora queremos comprobar si esa dependencia se sigue encontrando considerando la muestra total de galaxias. Para ello, se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA), calculando la matriz de covarianza de estos cuatro parámetros: magnitud absoluta de las SNe Ia, M_B , color de las SNe Ia, C , abundancia de oxígeno local alrededor de las SNe Ia, OH , y *stretch* de las SNe Ia, s .

El PCA proporciona la siguiente matriz de covarianza:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} 1.0 & 0.9749 & 0.5464 & -0.0222 \\ & 1.0 & 0.4780 & 0.0303 \\ & & 1.0 & -0.2251 \\ & & & 1.0 \end{pmatrix} \quad (5.10)$$

Los términos cruzados en la matriz de covarianza muestran en qué grado están correlacionados dos parámetros, y tienen valores de 1 a -1 . Los elementos en la diagonal principal representan la correlación de cada parámetro consigo mismo, lo que es siempre igual a 1. Es decir, cuanto más cerca de uno está cada elemento de la matriz, mayor es la relación que existe entre ambos parámetros. Nombramos los elementos de la matriz en la ecuación 5.10 como $a_{n,m}$, siendo n la fila en la matriz y m la columna. De esta forma, el elemento, por ejemplo, $a_{4,3}$ ³ corresponde al elemento situado en la cuarta fila y tercera columna, que relaciona s con OH .

La primera fila, correspondiente a M_B , nos dice que el color (segunda columna) es el parámetro más influyente, ya que $a_{1,2} = 0.9749$, con un valor muy cercano a 1. Los términos $a_{1,3} = 0.5464$ y $a_{1,4} = -0.0222$ relacionan

³La matriz de covarianza es simétrica, de modo que $a_{4,3} = a_{3,4}$, razón por la cual se muestran los elementos superiores de la matriz.

M_B con OH y s , respectivamente. Valores negativos implican que los parámetros están anti-correlacionados. Puede verse que ninguno de los términos es despreciable. El valor no nulo de $a_{1,3}$ nos permite considerar el efecto de la abundancia de oxígeno. Además, la abundancia de oxígeno correlaciona con M_B mejor que s . Esto es debido a que s tiene muy poca dispersión en nuestra muestra. Tal dispersión implica que, para nuestra muestra en particular s no es tan relevante como suele ser, permitiéndonos observar el efecto de la abundancia de oxígeno de una manera más clara.

De hecho, en nuestra muestra, s se encuentra en un rango entre 0.9 y 1.0, mientras que el rango usual va desde 0.4 hasta 1.6 (ver Figura 5.37). No obstante, el 70 % de las SNe Ia presentan un *stretch* dentro de nuestro rango (Sullivan et al., 2006).

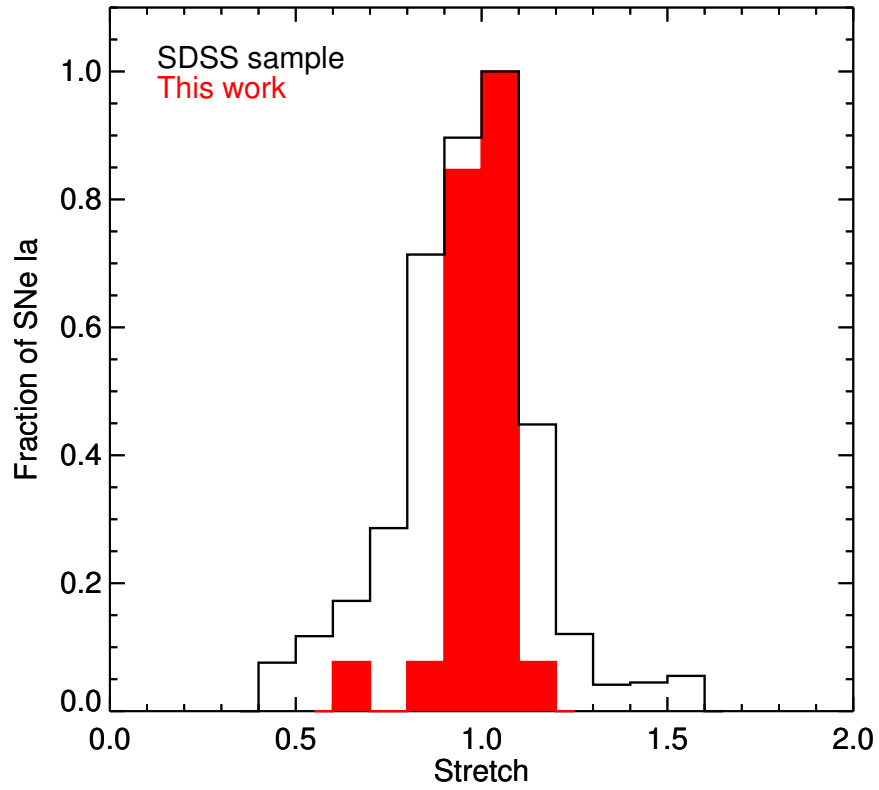


Figura 5.37 Distribución del stretch para la muestra de galaxias locales (rojo) comparada con la distribución de la muestra de SDSS (negro).

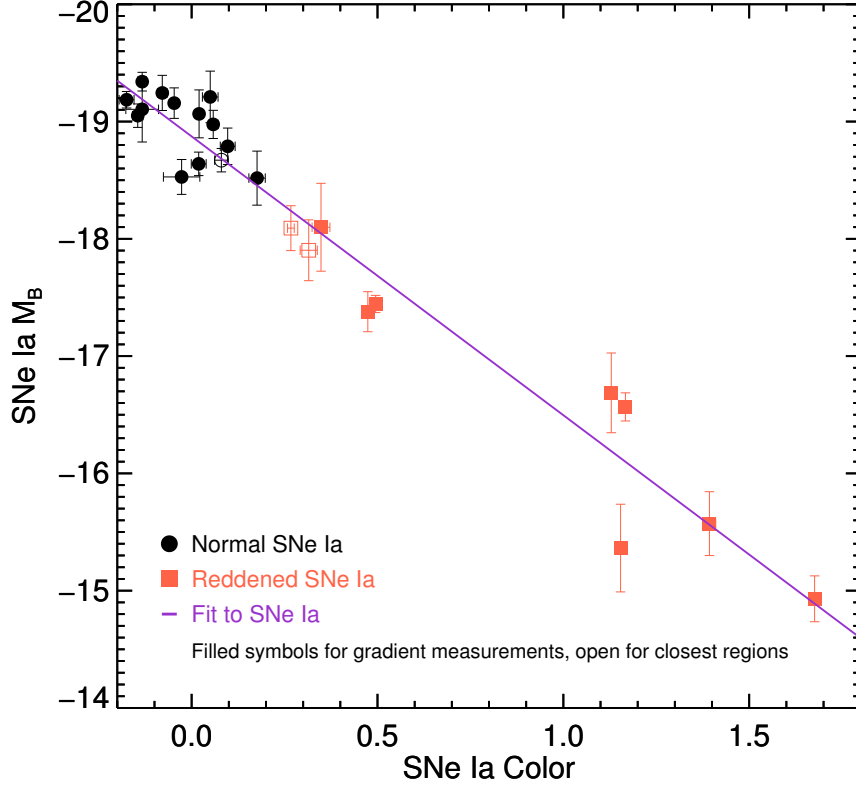


Figura 5.38 Magnitud absoluta de las SNe Ia, M_B en función del color de las SN Ia, C .

5.11. M_B vs. color

La dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la abundancia de oxígeno podría estar atribuida al color, un término incluido en los métodos cosmológicos para estimar el módulo de distancia (e implícitamente en la determinación de M_B de cada SN Ia). Realmente, el color de las SNe Ia muestra una dependencia con la abundancia de oxígeno (como puede verse en la matrix de covarianza, ver Fig. 5.39) con un valor de 0.43, pero el elemento (1,3) que da la correlación de la magnitud con el oxígeno es ligeramente más alto. Vamos a analizar estas dos dependencias en el orden marcado por esta matriz.

Nuestros datos muestran una buena correlación entre la magnitud de las SNe Ia y sus colores, como puede verse en la Figura 5.38. De hecho, un ajuste lineal de M_B frente al color, sigue la ecuación:

$$M_B = (-18.87 \pm 0.07) + (2.38 \pm 0.12) \times C, \quad (5.11)$$

con un coeficiente de correlación lineal $r = 0.9749$.

Ambos parámetros, $M_B = -18.87$ y $\beta = 2.38$, son del orden de los dados en Betoule et al. (2014): $M_B = -19.05 \pm 0.02$ y $\beta = 3.101 \pm 0.075$. La dispersión en M_B restando el efecto del color ($M_B - \beta C$, siendo β la pendiente en la Eq. 5.11) se reduce en comparación a la mostrada en la distribución de M_B .

5.12. Relación entre la metalicidad y el color

Antes de proceder al siguiente paso, es decir, eliminar la dependencia de la metalicidad, primero ha de discutirse la dependencia entre color y metalicidad. El término $a_{2,3} = 0.4279$ indica que existe una correlación entre estos dos parámetros, lo que significa que no son ortogonales. La Figura 5.39 muestra la relación entre color y OH, y un ajuste lineal proporciona:

$$\text{OH} = (8.45 \pm 0.03) + (0.13 \pm 0.05) \times C. \quad (5.12)$$

Como no queremos considerar dos veces el efecto que tiene el color sobre M_B , se crea un parámetro a partir de una combinación lineal entre el color y OH, que sí será ortogonal al color. Este nuevo parámetro ortogonal es $\text{OH}_{\text{pure}} = \text{OH} - \delta \times C$, donde δ es la pendiente en la Ecuación 5.12. El coeficiente de correlación entre C y OH_{pure} es $r = 0.00641$.

5.13. $M_B - \beta C$ vs. abundancia de oxígeno

Como $a_{1,3}$ no es cero en la Matriz de Covarianza, la dependencia con la abundancia de oxígeno existe. La Figura 5.40 compara los residuos $M_B - \beta C$ (eje y) con la abundancia de oxígeno (eje x), mostrando que, de hecho, $M_B - \beta C$ decrece cuando la abundancia de oxígeno aumenta. Este resultado concuerda con el encontrado en la sección 5.8.

Un ajuste lineal a los datos pintados en la Figura 5.40 da como resultado:

$$M_B - \beta C = (-26.85 \pm 3.77) + (0.94 \pm 0.45) \times \text{OH}_{\text{pure}}, \quad (5.13)$$

siendo el coeficiente de correlación lineal de este ajuste $r=0.4113$.

Dividimos la muestra en dos regiones, de baja metalicidad $\text{OH}_{\text{O3N2}} < 8.45$ con $M_B = -18.95 \pm 0.27$ mag, y de alta metalicidad, $\text{OH}_{\text{O3N2}} > 8.45$ con $M_B = -18.78 \pm 0.32$ mag (regiones azul y roja en la Fig.5.40). Esta diferencia resulta en un salto de ~ 0.17 mag entre ambas regiones, lo cual está en concordancia con la diferencia de 0.14 mag encontrada únicamente para las SNe Ia no enrojecidas.

De nuevo, podemos ver que se reduce la dispersión en $M_B - \beta C$ si eliminamos también el efecto de la abundancia de oxígeno, es decir al representar los residuos $M_B - \beta C - \gamma(\text{OH}_{\text{pure}} - 8.4)$. (Ver Figura 5.42).

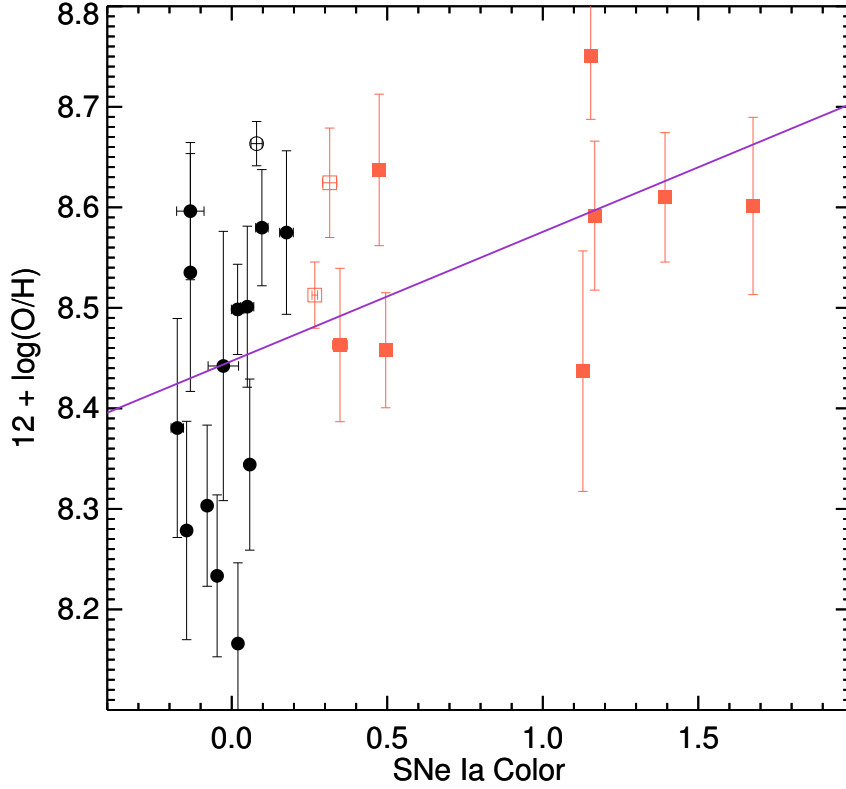


Figura 5.39 Abundancia de oxígeno en función del color de las SNe Ia. Los símbolos son los mismos que en la Figura 5.38.

5.14. $M_B - \beta C - \gamma(\text{OH}_{\text{pure}} - 8.4)$ vs. stretch

El parámetro s se considera también en los modelos tradicionales (ecuación 9.3) para corregir la magnitud absoluta.

La Figura 5.41 representa cómo se comportan los residuos del ajuste anterior $M_B - \beta C - \gamma(\text{OH} - 8.4)$, donde γ es la pendiente en la Ecuación 5.13 en función de este s . El término 8.4 está obtenido minimizando la dispersión de M_B y se refiere a una corrección nula cuando $\text{OH} = 8.4$. Este valor coincide con el límite entre alta y baja abundancia de oxígeno de la Sección 5.8. La Figura 5.41 indica que existe una dependencia con un ajuste lineal que se representa con:

$$M_B - \beta C - \gamma(\text{OH} - 8.4) = (-18.96 \pm 0.06) - (0.63 \pm 1.01) \times (s - 1), \quad (5.14)$$

donde el término $(s - 1)$ se refiere a una corrección nula cuando $s = 1$. El coeficiente de correlación de este ajuste es $r = -0.2984$.

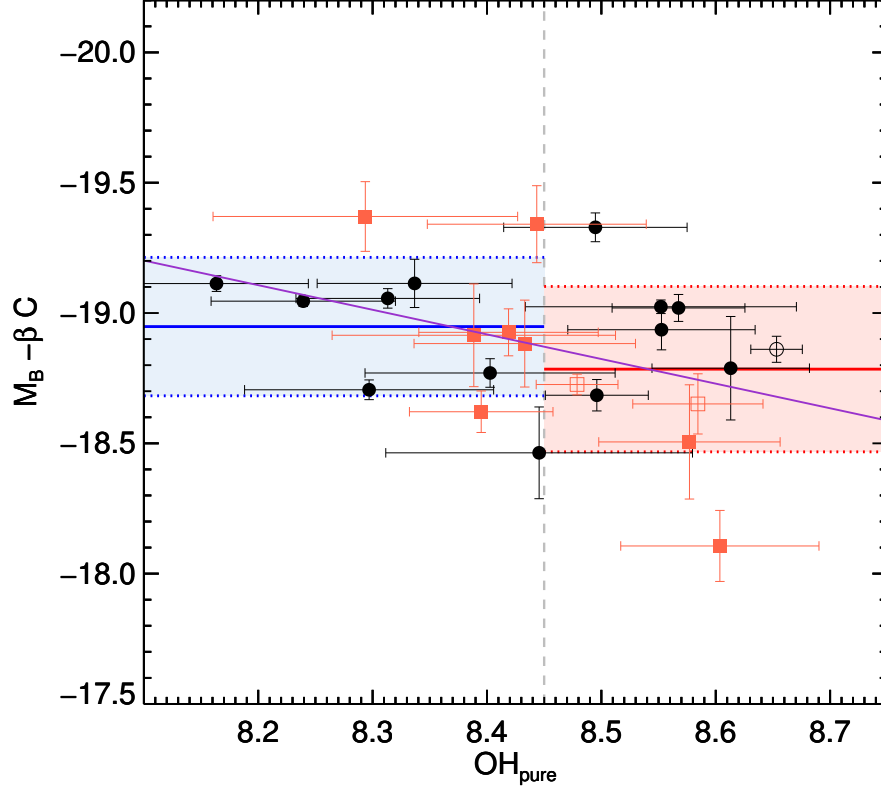


Figura 5.40 M_B sin el efecto del color ($M_B - \beta C$) en función de $OH_{O_3N_2}$. Los símbolos son los mismos que en la Fig. 5.38.

Con esto, puede verse cuál es la dispersión en M_B , y eliminar las dependencias de estos tres parámetros adoptando $M_B - \beta C' - \gamma(OH - 8.4) + \alpha(s - 1)$, donde α es la pendiente encontrada en la Ecuación 5.14. Con este último paso, se ha logrado disminuir la dispersión de los datos.

La Figura 5.42 muestra la distribución de magnitudes usando las dependencias a los parámetros tradicionales (s y C) (distribución gris) comparada con la distribución de magnitudes obtenida al eliminar estos parámetros más OH (distribución azul). La desviación estándar eliminando la dependencia con los tres parámetros se reduce ahora un 5.1 % al compararla con el modelo tradicional. En consecuencia, incluir la abundancia de oxígeno ayudaría a reducir la dispersión de la luminosidad en un factor pequeño, pero medible.

Estos resultados implican una posible mejora a la hora de reducir los residuos en el diagrama de Hubble al utilizar técnicas de SN Ia

Hemos probado cómo medidas independientes de M_B dependen de estos tres parámetros: C , s y OH .

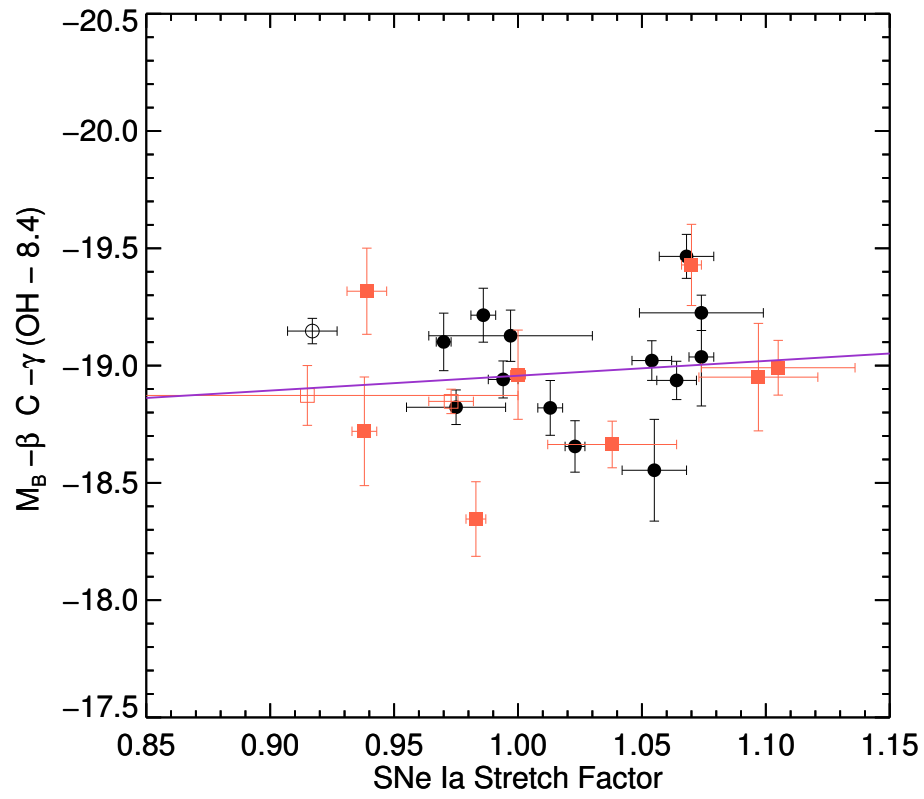


Figura 5.41 Magnitud absoluta en función del *stretch*. Los símbolos son los mismos que en la Fig. 5.38.

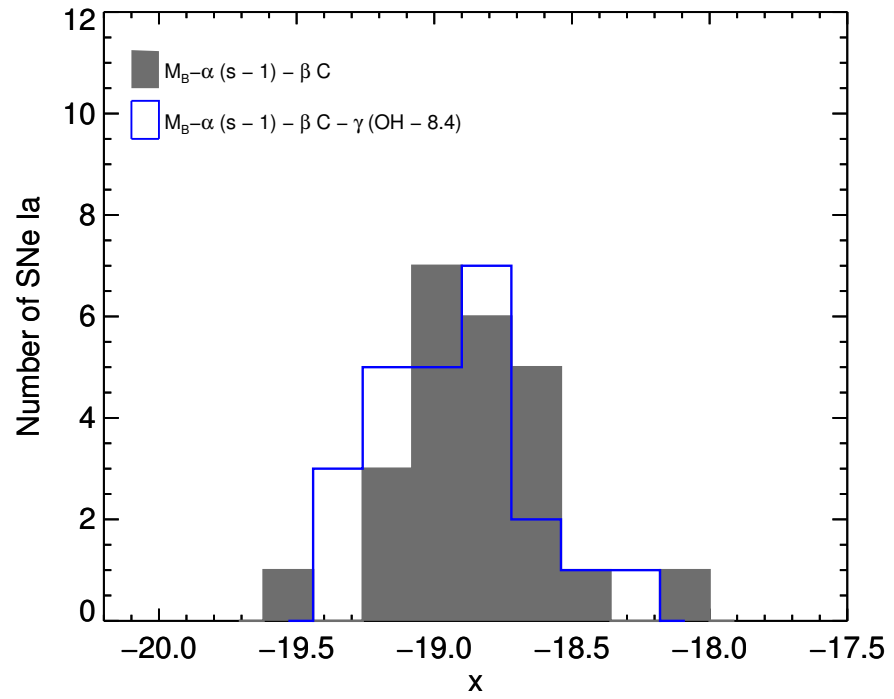


Figura 5.42 Distribución de M_B , etiquetada como x en el eje horizontal, con las dependencias de C y s eliminadas (gris) y eliminando además la dependencia con la metalicidad (azul).

La mayoría de las técnicas usualmente usadas en Cosmología de SNe Ia tienen en cuenta dos parámetros para calcular las magnitudes de cada SN Ia y reducir los errores sistemáticos en el módulo de distancia: el stretch s y el color C . Se han utilizado así para corregir la magnitud absoluta, M_B , que se considera fija para todas las SNe Ia. Al no tener en cuenta la metalicidad, las magnitudes estimadas mediante el color y los parámetros de las curvas de luz proporcionarían luminosidades más altas en galaxias ricas en metales de lo que deberían ser. Esto tendría cierto impacto en el Diagrama de Hubble, ya que induciría unos residuos en el citado diagrama que deberían depender de las abundancias de oxígeno (o cualquier otro trazador de la abundancia de oxígeno). Tal comportamiento ha sido observado en D'Andrea et al. (2011); Childress et al. (2013); Pan et al. (2014), donde se ha encontrado que, una vez separada la muestra de SNe Ia en dos grupos de abundancia de oxígeno, subsolar y suprasolar, aquellas localizadas en galaxias más metálicas son, de media, 0.10–0.12 magnitudes más brillantes que aquellas encontradas en anfitrionas menos metálicas, tras haber sido corregidas de sus LCs. Es decir, han sido sobrecorregidas. Los resultados encontrados en esta tesis explican este hecho con una diferencia de 0.14 ± 0.10 mag entre objetos en galaxias de baja y alta abundancia de oxígeno. En resumen, parece que las luminosidades de SNe Ia corregidas por s y C tienen una dependencia con las propiedades de sus galaxias anfitrionas, y en particular con la abundancia de oxígeno⁴, hecho que podría incrementar artificialmente la luminosidad por encima del valor real.

Así que, lo que se propone es incluir en el formalismo esta dependencia con la abundancia de oxígeno en la determinación del módulo de distancia, μ , tal que:

$$\mu = m_B - M_B + \alpha(s - 1) - \beta C + \gamma \text{OH}, \quad (5.15)$$

siendo α , β y γ los coeficientes que acompañan al *stretch*, s , al color, C , y a la abundancia de oxígeno, OH, de manera muy similar a lo que Lampeitl et al. (2010) y Sullivan et al. (2011) consideran al proponer la masa estelar como un parámetro extra. Esto debería minimizar los pequeños pero cuantificables errores sistemáticos inducidos por la dependencia con la abundancia de oxígeno de la luminosidad máxima de las SNe Ia.

5.15. Implicaciones de la relación $M_B - Z$

Si esta relación $M_B - Z$ realmente existe, su consecuencia directa más importante es que las distancias a objetos obtenidas mediante mediciones de SNe Ia podrían tener un error sistemático, ya que la magnitud absoluta de estas SNe Ia no habría sido calculada teniendo en cuenta este efecto.

⁴La luminosidad de las SNe Ia tiene una dependencia más fuerte con la abundancia de oxígeno del gas que con la estelar (Pan et al., 2014), debido a los problemas existentes en la determinación de esta última en los códigos de síntesis evolutiva.

La Figura 5.43 muestra las magnitudes calculadas mediante técnicas que usan SNe Ia frente a aquellas magnitudes calculadas con métodos independientes, como Tully-Fisher, o Cefeidas. Dentro de los métodos de SNe Ia, básicamente hay dos códigos: MLCKS y SALT2. La mayoría de las medidas han empleado SALT2 (Guy et al., 2007), así que por motivos de consistencia, a la hora de hacer el ajuste, se han tenido en cuenta únicamente los puntos provenientes del mismo ajuste. De esta manera el ajuste en base a los puntos de SALT2 lleva a:

$$M_{B, \text{SNIa}} = 0.46(\pm 1.59) + 1.04(\pm 0.11)M_{B, \text{SNIa ind.}}, \quad (5.16)$$

que tiene un coeficiente de correlación $r = 0.91$. Es cierto que la pendiente es cercana a la unidad, pero las técnicas de SNe Ia proporcionan luminosidades más altas (en otras palabras, distancias más largas), que aquellos valores determinados siguiendo otros métodos. Esto es, las luminosidades son más bajas que aquellas predichas por las técnicas de SNe Ia. El panel inferior de la Figura 5.43 muestra los residuos de $M_{B, \text{SNIa}}$ en función de las abundancias de oxígeno. Un ajuste lineal solo a los datos SALT2 (línea discontinua naranja) toma la forma:

$$\Delta M_{B, \text{SNIa}} = 2.57(\pm 1.95) - 0.30(\pm 0.23)\text{OH}_{\text{O3N2}}, \quad (5.17)$$

lo que implica nuevamente una diferencia de ~ 0.10 mag si hay una diferencia de 0.3 dex en la abundancia.

Si se comparan las distancias adoptadas para las galaxias con aquellas dadas para las mismas por métodos de SN Ia, tal y como se representa en la Figura 5.44, se aprecia que los métodos de SNe Ia tienden a sobreestimar las distancias respecto al resto de métodos. Los colores de los puntos indican si la SNe Ia son normales (negro), enrojecidas (rojo) o subluminosas (azul), mientras que las líneas sólidas verde y negra representan un ajuste lineal en base a todos los puntos, y sólo a las SNe Ia Normales, respectivamente. La línea punteada representa la identidad.

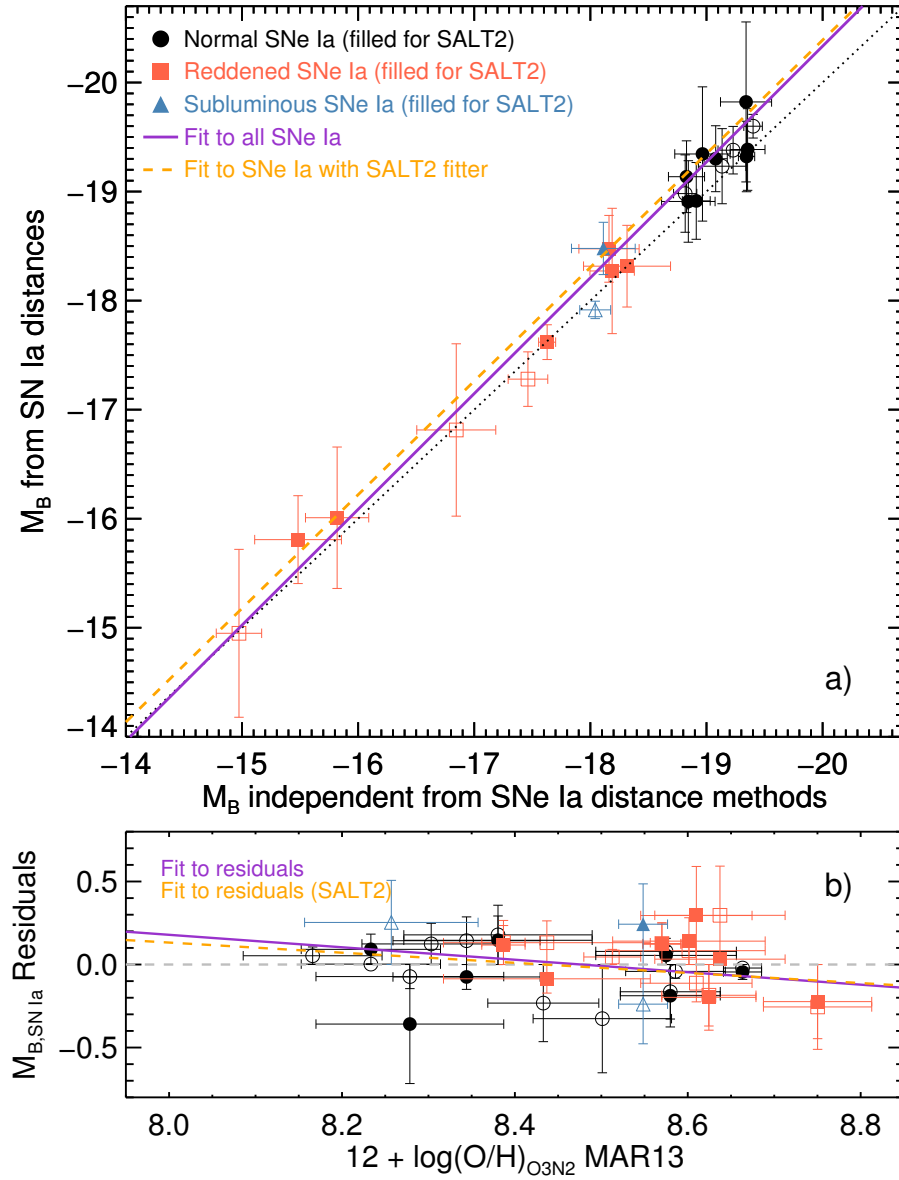


Figura 5.43 a) M_B obtenidas a partir de las distancias dadas por métodos de las propias SNe Ia en función de las M_B calculadas con el resto de métodos, independientes. La línea punteada es la igualdad $x = y$, mientras que las líneas continua púrpura y discontinua naranja son ajustes lineales a los datos. b) Residuos de M_B del panel superior en función de la abundancia de oxígeno.

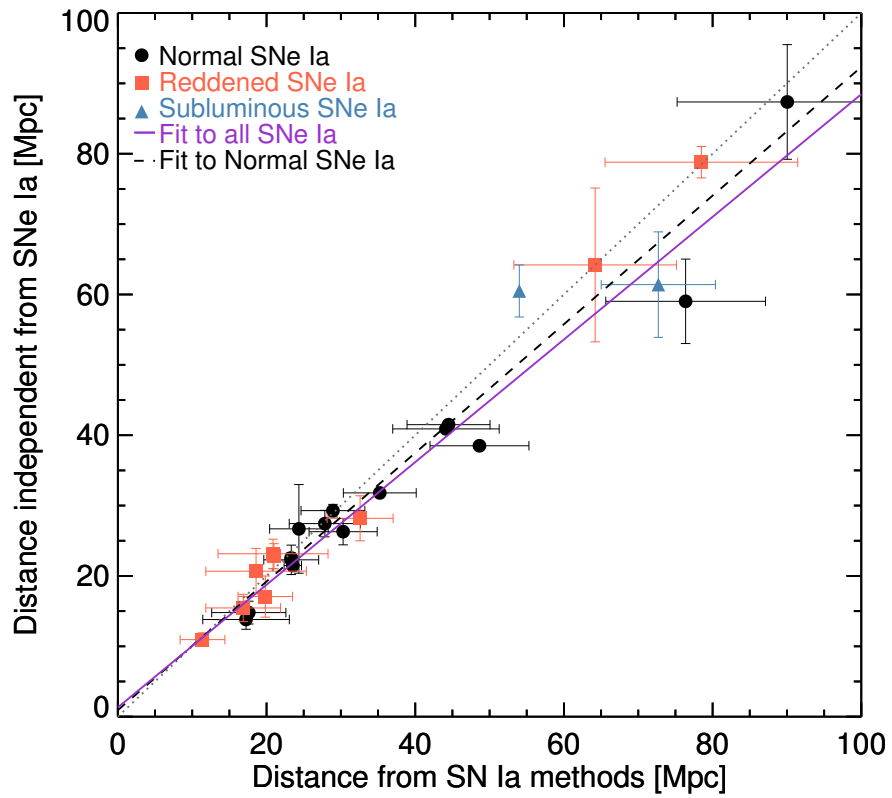


Figura 5.44 Comparación de las distancias obtenidas a partir de medidas de SNe Ia en función de aquellas adoptadas en este trabajo, totalmente independientes de las SNe Ia. La línea punteada gris corresponde a la recta $x = y$. Las líneas discontinua negra y continua morada son, respectivamente, los ajustes a las SNe Ia normales y a todas las SNe Ia.

Capítulo 6

Caso particular: estudio de la SN2014J

En enero de 2014, durante una de nuestras campañas de observación en el Observatorio del Roque de los Muchachos, estando en la sala de control del 4.2m WHT conocimos que se había descubierto una supernova en la galaxia del Cigarro, M82. Aparte de, obviamente, incluirla como una más en nuestra muestra de galaxias anfitrionas de SNe Ia a observar, decidimos que sería interesante hacer un seguimiento espectroscópico de la misma como parte de una propuesta de servicio. A partir de ello se han estudiado espectros de 27 épocas diferentes de la SN2014J, desde el 22 de febrero de 2014 hasta el 1 de septiembre de 2014, obtenidos con los espectrógrafos ISIS en el 4.2m WHT e IDS (del inglés Intermediate Dispersion Spectrograph), ubicado en el 2.5m INT (Isaac Newton Telescope), localizados en El Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma. Este capítulo es pues la consecuencia de este trabajo que nos ha permitido hacer un estudio particular y exhaustivo de la SN Ia más cercana jamás conocida

6.1. Introducción

La SN2014J explotó en M82 ($\alpha = 09^{\text{h}}55^{\text{m}}42.11^{\text{s}}$, $\delta = +69^{\circ}40'25.87''$, ver Figura 6.1), que está localizada sólo a ~ 3.5 Mpc de distancia (Dalcanton et al., 2009). Se trata de la SN Ia más cercana de la historia de la instrumentación moderna (puesto que la SN 1987A se trata de una SN II). Rivaliza con la SN 1972E que fue la SN Ia más cercana de las últimas cuatro décadas, y, debido a la gran incertidumbre en los estimadores de distancia de NGC 5253 (galaxia anfitriona de la SN 1972E), es probable que la SN2014J sea la más cercana desde la SN 1006 (SN de Kepler, ~ 6.1 pc). Fue descubierta de casualidad por Fossey et al. (2014) durante una clase práctica en enero 21.81 UT, mientras se hacía uso del telescopio de 35cm de apertura del Observato-

rio de la Universidad de Londres. Tras el anuncio de Fossey, se comprobó que había algunas observaciones anteriores al descubrimiento (Ma et al., 2014; Denisenko et al., 2014).

Cao et al. (2014) clasificó la SN2014J como SN Ia a partir del espectro obtenido con el DIS (Dual Imaging Spectrograph), en el telescopio de 3.5m ARC (Observatorio de Apache Point). Como se trata de la SN Ia moderna más cercana, ha sido extremadamente estudiada por varios grupos, con varios instrumentos y a varias longitudes de onda: rayos *gamma* (Kuulkers, 2014; Churazov et al., 2014; Isern et al., 2014); rayos X (Margutti et al., 2014); UV (Brown y Evans, 2014; Foley, 2014); óptico (Takaki et al., 2014; Cox et al., 2014; Kotak, 2014; Moreno-Raya et al., 2014; Bonev et al., 2014; Hernandez et al., 2014; Ritchey et al., 2014; Siverd et al., 2015; Poppe et al., 2015); infrarrojo (IR) cercano (Tendulkar et al., 2014; Venkataraman et al., 2014; Richardson et al., 2014; Srivastav et al., 2014); IR medio (Li et al., 2014a,b; Tesesco et al., 2015; Vacca et al., 2015); radio (Chomiuk et al., 2014; Chandra et al., 2014; Chandler y Marvil, 2014; Beswick et al., 2014; Sokolovsky et al., 2014; Perez-Torres et al., 2014); y espectropolarimetría (Patat et al., 2014).

Los primeros análisis del objeto sólo tardaron en salir unas pocas semanas después del descubrimiento. Se ha establecido la época de la explosión alrededor de enero 14.75 ± 0.30 UT (56671.75 MJD, Zheng et al., 2014; Goobar et al., 2015), y tuvo una magnitud absoluta en la banda *B* de $M_B = -19.19 \pm 0.10$ mag, alcanzada en febrero 1.74 ± 0.13 UT (56689.74 MJD, Marion et al., 2015). Utilizando fotometría óptica, Tsvetkov et al. (2014) estimó un parámetro de decaimiento $\Delta m_{15} = 1.01 \pm 0.05$ mag, mientras que Ashall et al. (2014) obtuvo $\Delta m_{15} = 1.08 \pm 0.03$ mag; Marion et al. (2015), $\Delta m_{15} = 1.12 \pm 0.02$ mag; y Kawabata et al. (2014), $\Delta m_{15} = 1.02 \pm 0.02$ mag. Todos estos resultados apuntan a que la LC de la SN2014J muestra el típico *stretch* de una SN Ia normal. Debido a la inclinación en la línea de visión de M82, la SN2014J se ve altamente afectada por la extinción. Amanullah et al. (2014) y Foley et al. (2014) han presentado estudios independientes de los modelos de extinción, llegando ambos a la conclusión de que se necesita un valor de R_V más bajo ($1.3 - 2.0$) que el valor estándar Galáctico (~ 3.1) para explicar las observaciones, lo que está en concordancia con otros trabajos (Goobar et al., 2014; Brown et al., 2015; Gao et al., 2015), y confirmado con polarimetría por Kawabata et al. (2014) sugiriendo granos de polvo más pequeños y de diferente naturaleza que el típico polvo galáctico. Las observaciones de radio y de rayos X no muestran detección alguna por parte de la SN, hecho que se interpreta a favor de un escenario DD para la SN2014J.

En la Figura 6.1 se muestra una imagen de la SN2014J y su galaxia anfitriona, M82, compuesta a partir de la combinación de imágenes utilizando los filtros *ugri* y $H\alpha$, obtenidas durante nuestras observaciones en el 4.2m WHT.

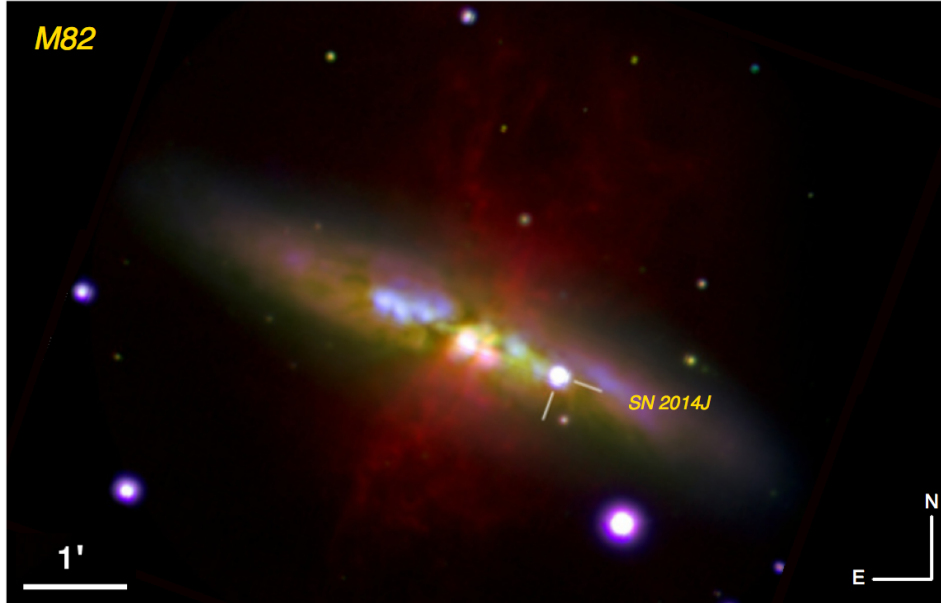


Figura 6.1 La supernova de tipo Ia 2014J en la galaxia starburst M 82. Imagen obtenida con el instrumento ACAM en el 4.2m WHT, el 24 de enero de 2014 (24 JAN 04:40 UT). Compuesta por los filtros u (azul oscuro) + g (celeste) + i (verde) + r (rojo) + $H\alpha$ (luminosidad). 3x100s en gr , 3x200s en i , 2x300s en u , y 4x300 en $H\alpha$. Todas las imágenes se han reducido utilizando IRAF, mientras que para la composición en color se ha empleado Photoshop. Observadores: Manuel E. Moreno-Raya & Lluís Galbany (DAS / UC, Chile). Procesado de datos y composición de imagen en color: Ángel R. López-Sánchez (AAO / MQ, Australia). Astrónomo de soporte: Chris Benn (ING, España/UK). Operador del Telescopio: Norberto González (ING, España/UK). Equipo: Manuel E. Moreno-Raya (CIEMAT, Spain), Mercedes Mollá (CIEMAT, Spain), Ángel R. López-Sánchez (AAO / MQ, Australia), Lluís Galbany (DAS / UC, Chile), Inma Domínguez (UGR, España), Pepe Vílchez (IAA-CSIC, España) & Aurelio Carnero (ON, Brasil)

Tabla 6.1 Especificaciones instrumentales para las observaciones realizadas en el Observatorio del Roque de los Muchachos durante las 27 noches que el proyecto duró.

Fecha (UT)	Época (Días)	Telescopio	Instrumento	Grisma	Cámara	t_{exp} [s]	R. Espacial [" pix ⁻¹]	R. Espectral [Å pix ⁻¹]	$\Delta\lambda$ [Å]	Rendija ["]
ENE 23.18 -9.6	INT	IDS	R1200R	EEV10	4x300	0.40	0.47	5800-7400	1.0	
ENE 24.23 -8.5	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	3x60	0.25	3.30	3500-9400	1.0	
ENE 25.30 -7.4	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	2x200	0.25	3.30	3500-9400	1.0	
ENE 26.25 -6.5	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	3x200	0.25	3.30	3500-9400	1.0	
ENE 27.30 -5.4	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	2x200	0.25	3.30	3500-9400	1.0	
ENE 28.11 -4.6	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	2x15	0.25	3.30	3500-9400	2.0	
FEB 04.05 +2.3	INT	IDS	R1200YREDPLUS23x120			0.44	0.53	4900-6400	1.3	
	INT	IDS	R1200YREDPLUS2 3x90			0.44	0.53	5860-7400	1.3	
FEB 05.06 +3.3	WHT	ISIS	R600B	EEV12	2x60	0.20	0.45	3700-5050	1.0	
	WHT	ISIS	R600R	REDPLUS	2x60	0.22	0.49	5600-7150	1.0	
FEB 05.93 +4.2	WHT	ISIS	R600B	EEV12	2x120	0.20	0.45	3650-5050	1.0	
	WHT	ISIS	R600R	REDPLUS	2x20	0.22	0.49	5650-7200	1.0	
FEB 12.27 +10.5	INT	IDS	R300V	REDPLUS2	7x60	0.44	2.06	4700-9900	1.2	
FEB 14.10 +12.4	INT	IDS	R400V	REDPLUS26x120		0.44	1.55	4400-7400	8.0	
FEB 19.18 +17.4	WTH	ACAM	V400	AUXCAM	3x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
FEB 20.07 +18.3	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	3x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
FEB 21.20 +19.5	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	3x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
FEB 24.19 +22.5	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	7x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
FEB 26.27 +24.5	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
MAR 07.1 +33.4	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	2x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
MAR 08.1 +34.4	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
MAR 12.8 +39.1	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x30	0.25	3.30	4100-9200	1.0	
MAR 18.1 +44.4	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x30	0.25	3.30	4100-9200	1.0	
ABR 08.91 +66.2	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x60	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
MAY 08.91 +96.2	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
MAY 09.90 +97.2	WHT	ISIS	R300B	EEV12	3x60	0.20	0.86	3700-5350	1.0	
	WHT	ISIS	R316R	REDPLUS	3x60	0.22	0.93	5350-8000	1.0	
MAY 11.89 +99.1	WHT	ISIS	R600B	EEV12	3x30	0.20	0.45	3700-5350	1.0	
	WHT	ISIS	R600R	REDPLUS	3x60	0.22	0.49	6200-7700	1.0	
JUN 18.93 +137.2	WHT	ISIS	R158B	EEV12	1x300	0.20	1.62	3650-5050	1.0	
	WHT	ISIS	R158R	REDPLUS	1x300	0.22	1.81	5500-9050	1.0	
JUL 08.89 +157.2	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x120	0.25	3.30	4900-9300	1.0	
SEP 02.23 +212.5	WHT	ACAM	V400	AUXCAM	1x30	0.25	3.30	4900-9300	1.0	

6.2. Observaciones

Se ha obtenido espectroscopía de rendija larga con dos telescopios: el 2.5m INT y el 4.2m WHT. Se ha cubierto un rango desde el 22 de enero hasta el 1 de septiembre, mediante la obtención de espectros correspondientes a 27 épocas distintas, correspondientes al tiempo de observación garantizado por la propuesta de servicio del ING *SW2014a08*: ‘*Spectroscopic follow-up of SN2014J*’ (IP: P. Ruíz-Lapuente). Debido a que los observadores y la configuración instrumental variaban cada noche, en la Tabla 6.1 se muestran los detalles para cada espectro individual.

6.2.1. Observaciones en el 2.5m INT

De un total de 27 noches, el INT fue el encargado de realizar las observaciones de las noches del 22 de enero, y del 2, 11 y 13 de febrero. Fueron llevadas a cabo con el espectrógrafo IDS colocado en el foco Cassegrain. Dependiendo de la configuración, se utilizaron dos cámaras. Para la noche del 22 de enero, se utilizó una CCD EEV10 con un tamaño de pixel de $13.5 \mu\text{m}$, y una resolución espacial de $0.40'' \text{ pix}^{-1}$. La observación se realizó con la red de dispersión R2100R, la cual presenta una dispersión de 34.8 Å mm^{-1} y una

resolución espectral efectiva de $0.47 \text{ \AA pix}^{-1}$. La anchura de la rendija se fijó en $1.0''$. Para las otras tres noches se utilizó una CCD tipo REDPLUS2, con un tamaño de pixel de $14 \mu\text{m}$, y una resolución espacial de $0.44'' \text{ pix}^{-1}$. Se empleó el grisma R1200Y (dispersión de 35.4 \AA mm^{-1} y resolución espectral efectiva de $0.53 \text{ \AA pix}^{-1}$), R300V (dispersión de $137.4 \text{ \AA mm}^{-1}$ y resolución espectral efectiva de $2.06 \text{ \AA pix}^{-1}$), y R400 (dispersión de $103.4 \text{ \AA mm}^{-1}$ y resolución espectral efectiva de $1.55 \text{ \AA pix}^{-1}$); y tres anchuras para la rendija, de $1.3''$, $1.2''$ y $8.0''$ respectivamente.

6.2.2. Observaciones en el 4.2m WHT

Los demás espectros correspondientes a las otras 22 noches se tomaron en el WHT usando o bien el espectrógrafo ISIS, o bien ACAM.

ISIS tiene dos brazos, que en conjunto cubren el rango espectral óptico. El brazo azul incorpora un CCD EEV12, con un tamaño de pixel de $13.5 \mu\text{m}$, y una resolución espacial de $0.20'' \text{ pix}^{-1}$. Las redes de dispersión utilizadas fueron: R600B (dispersión de 33.4 \AA mm^{-1} y resolución espectral efectiva de $0.45 \text{ \AA pix}^{-1}$); R300B (dispersión de 63.7 \AA mm^{-1} y resolución espectral efectiva de $0.86 \text{ \AA pix}^{-1}$); y R158B (dispersión de $120.0 \text{ \AA mm}^{-1}$ y resolución espectral efectiva de $1.62 \text{ \AA pix}^{-1}$). Para el brazo rojo se dispone de una CCD REDPLUS, con un tamaño de pixel de $15.0 \mu\text{m}$ y una resolución espacial de $0.22'' \text{ pix}^{-1}$. Para este brazo, las redes de dispersión, homólogas a las del brazo azul, fueron: R600R (dispersión de 32.7 \AA mm^{-1} y resolución espectral efectiva de $0.49 \text{ \AA pix}^{-1}$); R316R (dispersión de 62.0 \AA mm^{-1} y resolución espectral efectiva de $0.93 \text{ \AA pix}^{-1}$); y R158R (dispersión de $120.7 \text{ \AA mm}^{-1}$ y resolución espectral efectiva de $1.81 \text{ \AA pix}^{-1}$). En todos los casos la anchura de la rendija se fijó en $1.0''$.

Para los espectros obtenidos con ACAM, colocado de forma permanente en el telescopio, se utilizó la única configuración que el instrumento proporciona: la red de dispersión de 400 líneas (V400), que cubre el rango espectral de 3500 a 9400 \AA ($\sim 3.3 \text{ \AA pix}^{-1}$), y posee una resolución espacial de $0.25'' \text{ pix}^{-1}$. La anchura de la rendija se fijó en $1.0''$ para todas las noches, excepto la del 28 de enero, para la cual se fijó en $2.0''$.

6.2.3. Reducción

Todos los espectros se han reducido siguiendo las rutinas estándar de IRAF, descritas en la Sección 4.3. Para la calibración en flujo se observaron distintas estrellas espectrofométricas cada noche: HD93521, BD08 2015, Grw+705824, G191-B2B, Feige 34, PG0934+554, todas pertenecientes a los catálogos de Massey et al. (1988), Oke y Gunn (1983) y Stone (1977); y HD109995, recogida en la base de datos de IRAF. En la Figura 6.2 se muestran ejemplos para tres espectros bidimensionales obtenidos por los diferentes instrumentos utilizados. La Figura 6.3 muestra los espectros observa-

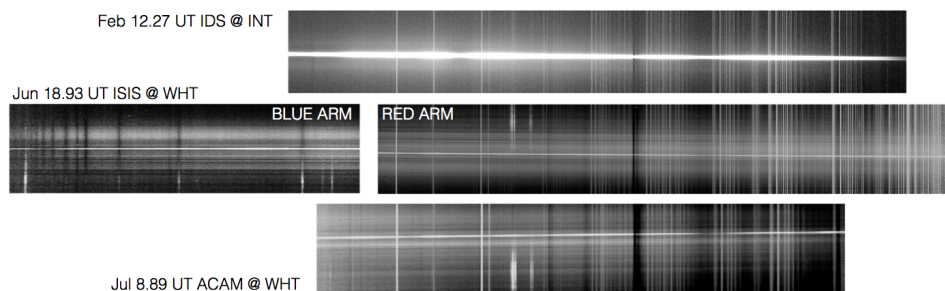


Figura 6.2 Espectros bidimensionales de la SN2014J ya reducidos obtenidos con los tres instrumentos en los dos telescopios. Arriba: Espectro tomado en el INT con IDS cubriendo el rango espectral 4700 – 9900 Å con R300V. Media fila: espectros de la SN2014J de los brazos azul y rojo tomados con ISIS en el WHT con las redes de dispersión R600, cubriendo unos rangos espectrales de 3650 – 5050 Å el azul y 5500 – 9050 Å el rojo. Abajo:espectro de ACAM de 4900-9300 Å de rango espectral. Se pueden apreciar varias líneas de emisión de la galaxia anfitriona en los espectros de las filas media e inferior.

dos totalmente reducidos, los cuales han sido corregidos para ser representado en longitud de onda en reposo por la velocidad de recesión de M 82 ($v = 203 \text{ km s}^{-1}$).

6.3. Caracterización espectral

En la Figura 6.3 se puede ver claramente la evolución de algunas características espectrales, incluyendo aquellas típicas características de las SNe Ia: Ca II H&K, Si II $\lambda 4130$, Mg II, S II W, Si II $\lambda 5972$, Si II $\lambda 6355$, y el triplete de Ca II. Hay además evidencias de características espectrales de alta velocidad (e.g. HV Ca a $\sim 7900 \text{ Å}$ en los espectros pre-máximo). No se han eliminado las líneas telúricas (señaladas con \oplus) en la figura (pero sí en las medidas cuando ha sido necesario), y se pueden ver también las absorciones del medio interestelar (ISM, del inglés *InterStellar Medium*), como las de NaD $\lambda 5900$. De las longitudes de onda más azules, se puede ver que la SN está altamente enrojecida debido al polvo en la galaxia anfitriona. Aunque los espectros mostrados en la figura no han sido corregidos por la extinción de la Vía Láctea y la galaxia anfitriona, todos los parámetros espectrales descritos a partir de ahora han sido medidos tras aplicar estas correcciones, utilizando una ley de extinción (Fitzpatrick, 1999), tanto para la Vía Láctea, utilizando los mapas de polvo de Schlafly y Finkbeiner (2011) asumiendo $R_V = 3.1$, como para M 82 con los valores de $E(B - V) = 1.2$ y $R_V = 1.4$ obtenidos por Amanullah et al. (2014).

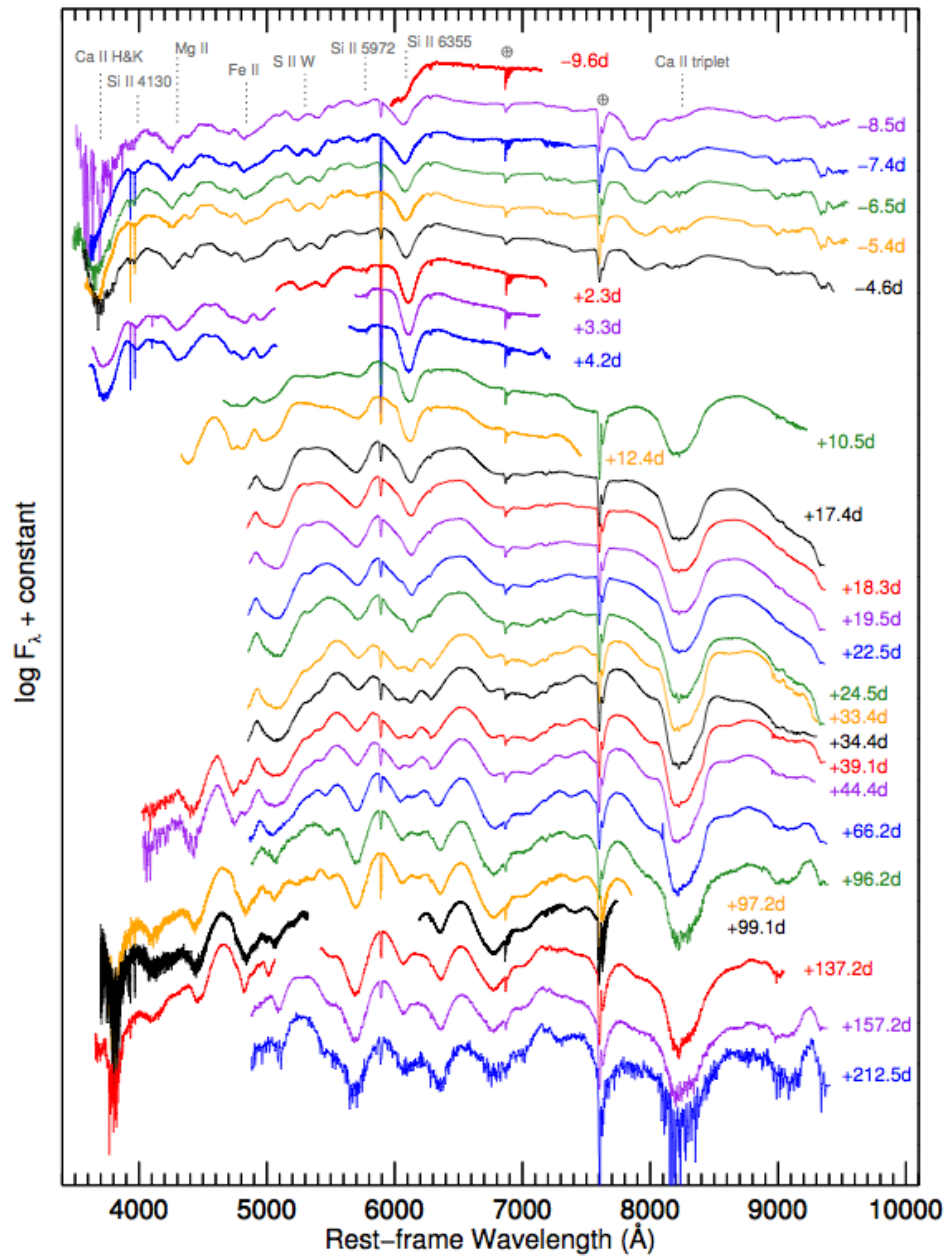


Figura 6.3 Evolución espectral de la SN2014J. Los espectros han sido corregidos de extinción por la Vía Láctea, así como corregidos por desplazamiento al rojo.

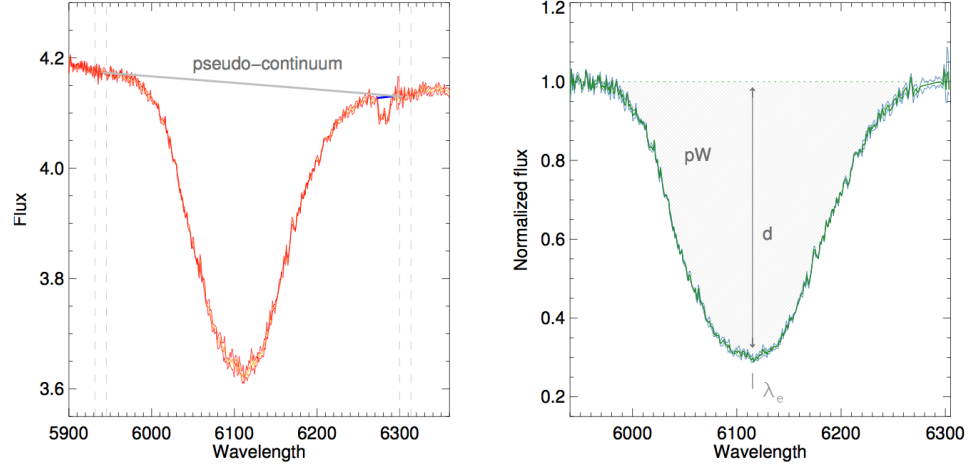


Figura 6.4 Descripción de los parámetros medidos de los espectros.

6.3.1. Medidas de los parámetros espectrales

Para los elementos enumerados anteriormente se ha estimado la velocidad de expansión (v) y la anchura pseudo-equivalente (pW) siempre que ha sido posible. También se ha medido la profundidad (d) para las absorciones de Si II $\lambda 5972$ Å y Si II $\lambda 6355$ Å. La Figura 6.4 es una representación de estos tres parámetros. Las velocidades se obtienen del salto del mínimo de la especie con respecto a su longitud de onda en reposo esperada, a través de la fórmula de Doppler relativista:

$$v = c \frac{[(\Delta\lambda/\lambda_0) + 1]^2 - 1}{[(\Delta\lambda/\lambda_0) + 1]^2 + 1} \quad (6.1)$$

donde λ_0 es la longitud de onda en reposo de cada especie y $\Delta\lambda$ es la diferencia entre la longitud de onda medida y λ_0 . Las anchuras pseudo-equivalentes se miden dibujando segmentos entre los puntos del continuo adyacente e integrando el área entre esta línea asumida como pseudo-continuo y el espectro observado. La profundidad (d) se mide como la diferencia en flujo entre el mínimo de absorción de una especie y el flujo de la línea de pseudo-continuo a esa misma longitud de onda. En las Tablas 6.2 y 6.3 se presentan los resultados de las medidas para v y pW , respectivamente. Los errores en las velocidades se estiman considerando el error en la determinación del flujo mínimo en cada una de las especies, que depende de su señal-ruido (S/N). Se han realizado varios ajustes Gausianos, de manera que la desviación estándar de la distribución es la adoptada como el error. Los errores de la anchura pseudo-equivalente básicamente dependen de la S/N en las regiones seleccionadas para la normalización, mientras que los errores de d son una combinación de los otros dos parámetros.

El enrojecimiento modifica la forma del espectro reduciendo el flujo de

Tabla 6.2 Velocidades medidas (en unidades de 10^3 km s^{-1}). Épocas según el máximo brillo en B .

Época	Ca II H&K	Si II λ 4130	Mg II	Fe II	S II W	Si II λ 5972	Si II λ 6355	Triplete Ca II
-9.6	...	...	...	...	...	...	13.6(0.1)	...
-8.5	...	11.8(1.2)	14.3(0.2)	18.9(0.2)	11.0(0.2)	11.3(0.1)	11.5(0.1)	13.0(0.1)
-7.4	21.9(0.8)	11.0(0.2)	14.0(0.1)	18.7(0.1)	10.8(0.1)	11.1(0.1)	11.0(0.1)	12.7(0.1)
-6.5	20.4(0.9)	10.7(0.3)	14.2(0.2)	18.8(0.1)	10.7(0.1)	10.7(0.1)	10.8(0.1)	12.5(0.1)
-5.4	18.7(0.4)	10.5(0.7)	14.0(0.1)	18.4(0.1)	10.4(0.1)	10.6(0.1)	10.6(0.1)	12.2(0.1)
-4.6	18.2(0.1)	10.1(0.4)	14.0(0.3)	18.1(0.1)	10.2(0.1)	10.2(0.1)	10.6(0.1)	12.1(0.1)
+2.3	...	...	...	...	9.9(0.1)	9.5(0.1)	10.6(0.2)	11.5(0.1)
+3.3	16.3(0.6)	9.6(0.1)	11.8(0.1)	...	...	...	10.6(0.1)	11.4(0.1)
+4.2	15.3(0.2)	9.4(0.1)	10.6(0.1)	...	...	...	10.7(0.2)	11.2(0.1)
+10.5	...	...	...	...	9.0(0.1)	9.1(0.1)	12.1(0.1)	11.0(0.1)
+12.4	...	...	...	10.0(0.1)	8.3(0.2)	8.7(0.2)	12.2(0.1)	10.8(0.1)
+17.4	...	...	...	...	...	...	...	10.5(0.1)
+18.3	...	...	...	...	...	...	...	10.3(0.1)
+19.5	...	...	...	...	...	...	...	10.3(0.1)
+22.5	...	...	...	...	...	...	...	10.2(0.2)
+24.5	...	...	...	...	...	...	...	10.1(0.2)
+33.4	...	...	...	...	...	...	...	10.2(0.2)
+34.4	...	...	...	...	...	...	...	10.5(0.3)
+39.1	...	...	...	3.6(0.1)	...	...	...	10.4(0.3)
+44.4	...	...	...	4.5(1.2)	...	...	...	10.9(0.3)
+66.2	...	...	...	...	...	...	...	9.9(0.6)
+96.2	...	...	...	...	...	...	...	7.8(0.5)
+97.2	10.0(0.1)	...	2.7(0.2)	6.1(0.7)	...	...	...	8.1(0.3)
+99.1	10.3(0.3)	...	2.7(0.6)	5.8(0.2)	...	...	...	...
+137.2	9.9(0.5)	...	0.9(0.8)	...	...	...	...	7.6(1.1)
+157.2	...	...	...	...	...	...	...	8.2(1.6)
+212.5	...	...	...	...	...	...	...	7.3(1.9)

Tabla 6.3 Anchuras equivalentes medidas (en Å). Épocas según el máximo brillo en B .

Época	Ca II H&K	Si II λ 4130	Mg II	Fe II	S II W	Si II λ 5972	Si II λ 6355	Triplete Ca II
-9.6	...	...	...	...	...	...	...	...
-8.5	...	15.6(3.1)	111.7(6.2)	139.8(6.7)	59.4(4.5)	19.3(1.5)	115.2(2.9)	242.2(2.7)
-7.4	...	13.9(1.5)	102.3(1.2)	136.0(1.6)	61.7(2.8)	16.8(1.2)	111.6(2.4)	221.7(4.2)
-6.5	242.8(5.8)	13.3(2.6)	107.3(3.6)	147.3(3.5)	66.1(3.8)	17.2(1.3)	112.6(3.1)	198.9(2.8)
-5.4	...	15.2(6.7)	113.5(4.5)	153.2(3.4)	71.0(3.2)	17.5(1.1)	113.0(4.6)	175.6(3.3)
-4.6	195.9(8.0)	15.5(3.4)	105.3(4.9)	149.5(5.5)	72.1(3.8)	15.9(1.9)	112.0(2.3)	169.9(3.4)
+2.3	...	...	...	...	80.3(3.5)	17.6(2.6)	111.2(3.7)	...
+3.3	122.3(6.0)	19.4(1.0)	103.4(1.9)	...	...	...	117.8(3.8)	...
+4.2	123.0(3.2)	21.5(1.4)	104.3(2.9)	...	...	17.2(1.6)	118.3(4.6)	...
+10.5	...	...	...	...	19.6(1.5)	45.0(2.7)	126.6(3.0)	284.8(2.9)
+12.4	...	...	...	284.2(7.6)	5.4(3.1)	79.1(3.1)	133.6(2.3)	...
+17.4	...	...	...	...	...	...	168.6(5.3)	309.8(2.6)
+18.3	...	...	...	...	...	...	181.1(5.5)	318.0(2.4)
+19.5	...	...	...	...	...	...	187.9(6.3)	330.1(2.4)
+22.5	...	...	...	...	...	...	203.2(6.6)	355.8(1.7)
+24.5	...	...	...	...	...	...	216.1(5.8)	393.2(4.8)
+33.4	...	...	...	...	...	...	254.2(5.9)	447.7(3.3)
+34.4	...	...	...	...	...	...	257.2(5.9)	439.2(5.6)
+39.1	...	...	...	437.6(11.9)	...	...	255.1(5.3)	463.4(3.5)
+44.4	...	...	...	422.4(4.7)	...	...	251.7(5.8)	480.6(4.2)
+66.2	...	...	...	...	...	...	245.8(8.9)	525.4(5.0)
+96.2	...	...	...	...	...	...	240.0(9.1)	553.8(6.2)
+97.2	137.6(9.4)	...	289.2(10.3)	252.0(8.4)	...	...	245.8(3.9)	...
+99.1	165.1(16.0)	...	317.3(12.2)	282.7(7.2)	...	...	...	...
+137.2	152.3(7.0)	...	279.3(5.8)	...	...	...	254.0(5.2)	494.9(4.7)
+157.2	...	...	...	...	...	...	254.6(6.2)	453.6(10.5)
+212.5	...	...	...	...	...	...	271.0(8.2)	412.5(34.8)

manera más intensa en las longitudes de onda azules, e influye en las mediciones espectrales. Aunque el mínimo de absorción de las especies no se va a ver afectado (v), sí que habrá cierto impacto tanto la pendiente del pseudo-continuo como la profundidad. Nordin et al. (2011) y Garavini et al. (2007) estudiaron los efectos del enrojecimiento en los errores de las medidas de pW , y vieron que para valores de $E(B-V)$ menores que 0.3 la diferencia es menor del 5 %, pero que para SNe más extinguidas, el efecto podría ser importante, tal y como ocurre con la SN2014J.

6.3.2. Diagramas de diagnóstico

Para estudiar las propiedades de las SNe Ia e interpretar sus heterogeneidades, se hace uso de diferentes indicadores espectrales.

Nugent et al. (1995) definieron la fracción de profundidad del Silicio a partir del cociente entre Si II $\lambda 5972$ y Si II $\lambda 6355$ en el espectro del punto máximo de la LC, $R(\text{Si II}) = \frac{d_{5972}}{d_{6355}}$, que correlaciona bien con la magnitud absoluta en el máximo, y que a su vez depende del parámetro de decaimiento mediante la relación de Phillips: SNe Ia más luminosas presentan un $R(\text{Si II})$ más bajo en el máximo de la LC, y un decaimiento de brillo más lento. Tanto las heterogeneidades fotométricas como espectroscópicas se atribuyen a diferencias en la temperatura efectiva que dependen de la cantidad de ^{56}Ni producido en la explosión y de la energía cinética. La primera se puede estimar a través del decaimiento de la luminosidad en la LC bolométrica, y la segunda determina a partir de la velocidad de expansión. Sin embargo, la ausencia de correlación entre $R(\text{Si II})$ y la velocidad fotosférica (deducida a partir de Si II $\lambda 6355$ desplazada hacia el azul) indican que un único parámetro no es suficiente para explicar la diversidad espectroscópica de las SNe Ia. (Hatano et al., 2000). De hecho, la estandarización fotométrica actual para reducir la dispersión de las SNe Ia requiere al menos dos parámetros (*stretch* y *color*) para reducir la dispersión de la magnitud pico, e incluso se propone un tercer parámetro relativo al entorno de las SNe Ia (Moreno-Raya et al., 2016, que es el objetivo de esta tesis).

Benetti et al. (2005, Be05 de ahora en adelante) estudiaron la evolución de $R(\text{Si II})$ y propusieron que las SNe Ia podrían separarse en tres grupos dependiendo de su valor en el máximo: (i) Con gradiente de velocidad alto (HVG, del inglés *High Velocity Gradient*), con valores altos de $R(\text{Si II})$ justo después de la explosión y que decrecen monótonamente a $R(\text{Si II}) \leq 0.2$ alrededor de la época de máximo brillo; (ii) Con gradiente de velocidad bajo (LVG, del inglés *Low Velocity Gradient*), que no muestran ni evolución ni aumento de $R(\text{Si II})$ desde la explosión hasta el momento de máximo brillo, donde suelen tener un valor mayor de $R(\text{Si II})$ que las SNe Ia HVG; (iii) subluminosas, con $R(\text{Si II}) > 0.4$ en la época de máximo brillo. Esta separación se hace más evidente cuando se compara el gradiente de velocidad de Si II $\lambda 6355$ (\dot{v}_{10} , desde la época de máximo brillo hasta 10 días después) con el

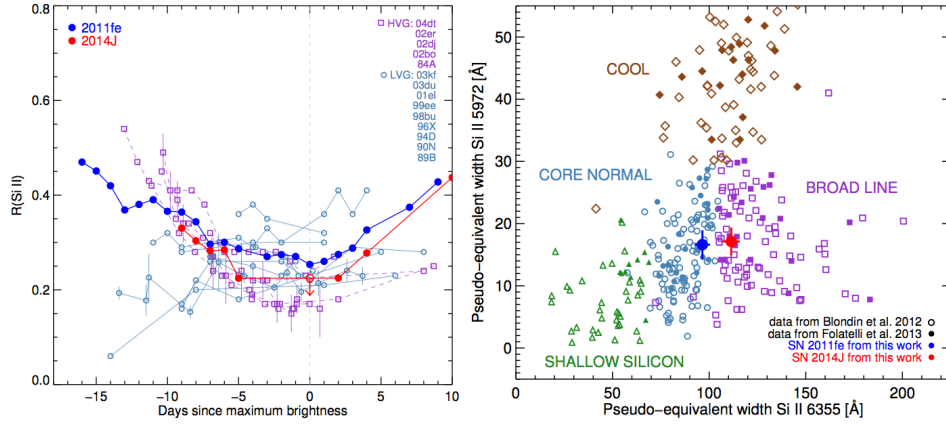


Figura 6.5 Izquierda: Diagrama de Be05 donde la evolución del parámetro $R(\text{Si II})$ se compara para los grupos de SNe Ia HVG (azul) y LVG (púrpura). Datos originales de Altavilla et al. (2009), con datos superpuestos de las SNe 2011fe y 2014J. Derecha: diagrama de Br06 en el que se comparan las anchuras pseudo-equivalentes de los dos iones del Si II a 5972 y 6355 Å. Datos CfA y del Carnegie Supernova Project (CSP, Folatelli et al., 2013), de nuevo con nuestras medidas para las SNe 2011fe y 2014J.

parámetro Δm_{15} . Mientras las SNe subluminosas muestran valores de Δm_{15} mayores que en los otros dos grupos, LVG y HVG están separados por su gradiente de velocidad ($\langle \dot{v}_{10} \rangle_{\text{HVG}} = 97 \pm 16$ y $\langle \dot{v}_{10} \rangle_{\text{LVG}} = 37 \pm 18 \text{ km s}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en la muestra original de Be05).

Finalmente, esta separación puede ser también interpretada debida a diferencias en el mecanismo responsable de la explosión (las HVG podrían ser producidas por detonaciones retrasadas, mientras que las LVG serían producto de deflagraciones), diferente composición de elementos pesados en la estructura de la WD (más eficiente para las SNe Ia HVG), o por diferencias en el ángulo de visión asumiendo explosiones asimétricas (dos SNe Ia que sean físicamente idénticas pueden ser clasificadas de manera diferente si son vistas desde diferentes direcciones; Maeda et al., 2010). El parámetro $R(\text{Si II})$ presenta una variación continua, lo que facilita la identificación de objetos peculiares, extremos o intermedios.

De manera alternativa, Branch et al. (2006, Br06 de ahora en adelante) propusieron un sistema de clasificación diferente, estableciendo un diagrama de los anchos pseudo-equivalentes de esas mismas especies de Si II que Nugent et al. (1995). Aunque las características espectrales utilizadas en los diagramas de Be05 y Br06 son las mismas, la profundidad utilizada en Be05; y la forma, anchura e intensidad con respecto al continuo adyacente utilizados en Br06 no dan exactamente la misma información. Basado en la posición de la SN Ia en el diagrama y en la apariencia real de la especie Si II $\lambda 6355$, Br06 distingue cuatro grupos diferentes: (i) Shallow-silicon (SS) muestran valores

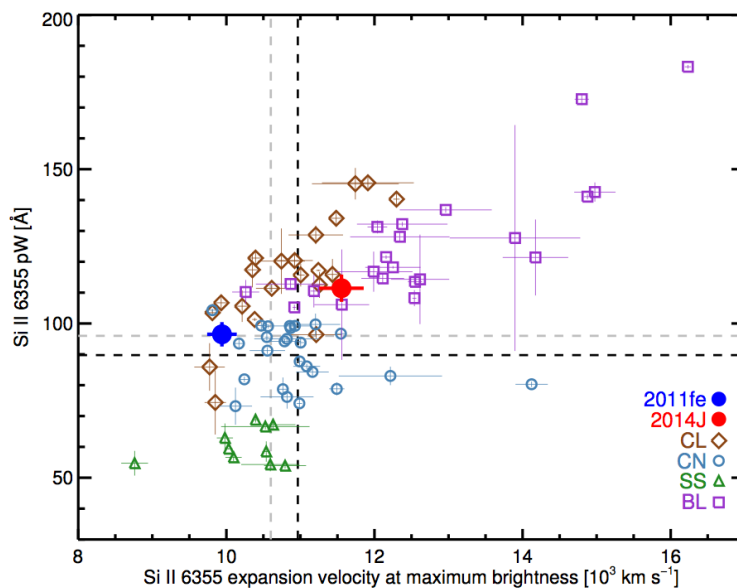


Figura 6.6 Diagrama de Wa09 que compara el ancho pseudo-equivalente de la absorción de Si II $\lambda 6355$ frente a la velocidad del mismo elemento en la época de máxima luminosidad de la banda B . Los datos que rellenan la figura pertenecen a SNe Ia del CSP. La SN2011fe está localizada en medio del grupo de supernovas normales, mientras que la SN2014J se encuentra a caballo entre el grupo de normales y de alta velocidad. Las líneas grises horizontal y vertical representan los pW y v promedio de las SNe Ia normales recogido en Wang et al. (2009), mientras que las líneas negras son los valores promedio para la muestra de CSP.

bajos de pW en las dos especies (≤ 70 Å para Si II $\lambda 6355$ y ≤ 25 Å para Si II $\lambda 5972$); (ii) Core-normal (CN) presentan forma y pW similares en la absorción, y valores más altos de pW que en las SS (hasta 105 Å). Estas diferencias se deben a unas temperaturas más bajas que en el caso anterior; (iii) Broad-line (BL) que presentan pW de Si II $\lambda 6355$ mayores (≥ 105 Å), y con absorciones más estrechas y profundas que las relativas a las CN; y por último las Frías (CL, del inglés *Cool*), que presentan valores pW elevados para ambos iones del silicio, especialmente para el Si II $\lambda 5972$ (≥ 30 Å). La principal razón para esto parece ser la temperatura. Como ocurre en Be05, las regiones intermedias están pobladas de objetos intermedios, mostrando una continuidad en la secuencia de las propiedades espectrales de las SN Ia.

Hay una clara correspondencia entre estos dos diagramas. Las SNe Ia CL en Br06 se corresponden con las SNe Ia débiles en Be05, como era de esperar, pues tanto la temperatura como la luminosidad están controladas principalmente por la masa de ^{56}Ni . Las SNe Ia BL en Br06 se identifican con las SNs Ia HVG en Be05, debido a que la absorción ancha de Si II $\lambda 6355$ requiere de alta velocidad de expansión. Tanto las CN como las SS en Br06 corresponden a las LVG en Be05.

Posteriormente, Wang et al. (2009, Wa09 a partir de aquí) propuso un diagrama de clasificación diferente basado en la anchura pseudo-equivalente de la línea de absorción del Si II $\lambda 6355$ y la velocidad del mismo ion cerca del máximo de la LC en la banda B . Se distinguen aquí entre normales y de alta velocidad (HV), que muestran una tendencia lineal que apunta a que a mayor pW , mayor es la velocidad, y también se definen otros dos grupos: SNe Ia *subluminosas* (correspondientes a las SNe Ia tipo 91bg), con valores más bajos de pW y v en el máximo; y *superluminosas* (correspondientes a las SNe Ia tipo 91T), con velocidades más bajas pero con valores similares de pW a las normales. Esta descripción presenta una correspondencia uno a uno con los grupos de Br06.

Para resumir la diversidad espectroscópica descubierta hasta ahora, en una escala decreciente en temperatura, tenemos: 191T (SS) hacia normales (CN) y 91bg (CL), más las SNe Ia de alta velocidad (BL) como una rama del grupo de las SNe Ia normales.

6.4. Resultados y discusión

6.4.1. SN2014J en los diagramas Be05, Br06 y Wa09

En la Figura 6.5 se muestran los dos diagramas de diagnóstico de Be05 y Br06. En ésta y en las sucesivas figuras, también se muestra la SN2011fe, como referencia para comparaciones con la SN2014J. Se trata también de un objeto cercano y no muestra mucha extinción, $E(B - V) \sim 0.03$, considerando tanto la contribución de la Vía Láctea como la de la galaxia anfitriona, (Mazzali et al., 2014). Esos espectros se han obtenido del repositorio interactivo de datos de supernovas Weizmann (WiSeREP¹; Yaron y Gal-Yam, 2012), y se han medido los mismos parámetros espectrales de manera homogénea junto con los datos de este trabajo.

El diagrama de Be05 se ha rellenado con objetos originales de Benetti et al. (2005) y de Altavilla et al. (2009). Las SNe Ia HVG (en púrpura) muestran valores más altos de $R(\text{Si II})$ en los espectros en la época antes del máximo, y decrecen a partir de él, mientras que en las SNe LVG evoluciona creciendo monótonamente, o no evoluciona en absoluto. Comparado con Si II $\lambda 6355$, la absorción de Si II $\lambda 5972$ se produce en una transición con mayor energía, por lo que $R(\text{Si II})$ debería crecer para temperaturas más altas (Nugent et al., 1995). Esto significa que las SNe HVG comienzan con temperaturas bajas que aumentan conforme llegan al máximo de luminosidad, mientras las LVG, presentan temperaturas altas ya antes del máximo. A bajas temperaturas, el efecto de apantallamiento de Fe II y Co II aumenta la anchura aparente de Si II $\lambda 5800$, y a altas temperaturas Fe III y Co III se diluyen.

La Tabla 6.4 recoge las medidas de $R(\text{Si II})$ para las SN2011fe y SN2014J.

¹<http://wiserep.weizmann.ac.il>

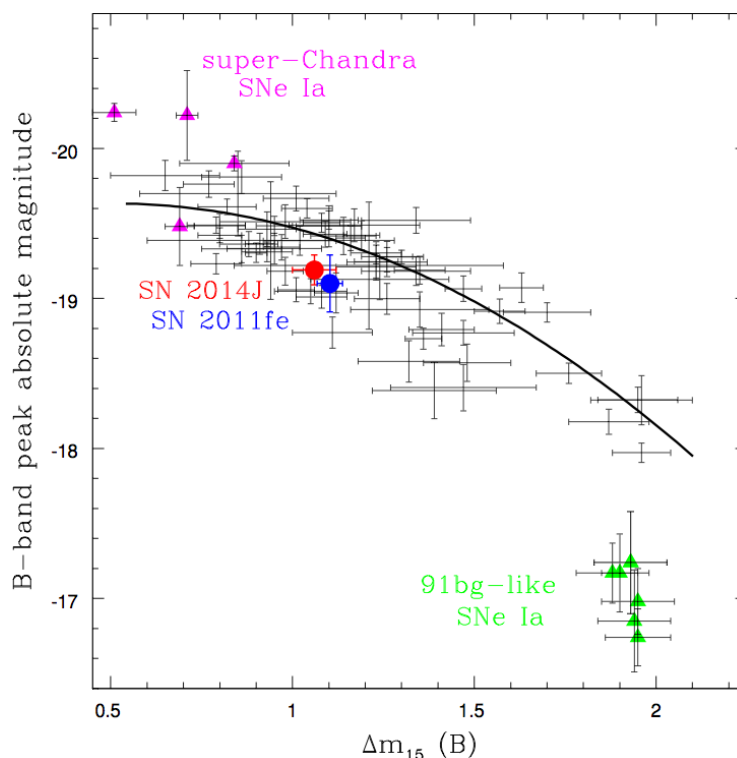


Figura 6.7 Relación de Phillips. Las SNe 2011fe y 2014J se posicionan dentro del grueso de las SNe Ia normales.

La SN2011fe posee valores de $R(\text{Si II})$ mayores que los de la SN2014J durante todo el periodo, como muestra el panel izquierdo de la Figura 6.5. En la fase pre-máximo, esto se puede interpretar como que la SN2011fe tiene una temperatura fotosférica más baja debido al apantallamiento del hierro y el cobalto, y en la fase cercana al máximo alcanza una magnitud absoluta menor. Aunque los valores en la literatura indican que la SN2011fe tiene una M_B similar o incluso un poco más brillante que la SN2014J, los valores de Δm_{15} son ligeramente más altos para la SN2011fe, sugiriendo que la corrección por enrojecimiento de la SN2014J podría estar subestimada.

De acuerdo con la relación de Phillips, estas dos SNe se posicionan en el grueso de las SNe Ia normales, bien alejadas tanto de las SNe Ia subluminosas (tipo 91bg), como de las SNe Ia superluminosas super-Chandra, tal como muestra la Figura 6.7. Esto refuerza la clasificación de la SN2014J como SN Ia normal desde un punto de vista fotométrico, pudiéndose usar en análisis cosmológicos.

Debido a la escasez de medidas tempranas de $R(\text{Si II})$ para la SN2014J, no se puede establecer una clasificación definitiva atendiendo al diagrama Be05, aunque tiene un valor más bajo de $R(\text{Si II})$ en el máximo que la SN2011fe.

Tabla 6.4 Evolución de $R(\text{Si II})$ para las SNe 2011fe y 2014J

Época	2011fe	2014J
-16	0.47	...
-15	0.45	...
-14	0.42	...
-13	0.37	...
-12	0.38	...
-11	0.39	...
-10	0.37	...
-9	0.36	0.33
-8	0.34	0.30
-7	0.30	0.28
-6	0.30	0.28
-5	0.29	0.22
-3	0.27	...
-2	0.27	...
-1	0.27	...
0	0.25	...
1	0.26	...
2	0.27	0.22
3	0.29	...
4	0.33	0.28
7	0.37	...
9	0.43	...
10	...	0.44
12	...	0.72

Sin embargo, las medidas de pW en la época del máximo de luminosidad sí permiten una clasificación precisa en el diagrama de Br06 (panel derecho de la fig. 6.5). Éste diagrama se ha completado con datos de CfA y del Carnegie Supernova Project (CSP Folatelli et al., 2013) con el fin de definir las regiones que abarca cada uno de los grupos. Tanto la SN2011fe como la SN2014J están en una posición intermedia entre las CN (HVG en Be05), y las BL (LVG en Be05). La clasificación según Br06 coincide con la obtenida con Be05: ambos objetos presentan comportamientos correspondientes a sus grupos, pero parecen ser objetos extremos en sus grupos y similares entre ellos.

Como doble comprobación a la clasificación dada por estos diagramas, en la Figura 6.6 se representa el diagrama Wa09. Como la SN2014J presenta velocidades más altas que la SN2011fe, también se encuentra localizada dentro del grupo de las BL, pero en la frontera con la región de las CN.

6.4.2. Evolución de la velocidad y anchura equivalente

La Figura 6.8 muestra la evolución de las velocidades de expansión del Si II, S II y Ca II. Se han añadido la evolución de las velocidades de las SNe Ia de CSP recogidas en Folatelli et al. (2013), coloreadas según la clasificación espectroscópica dada por el diagrama de Br06. En general, las velocidades de expansión de la SN2014J son más altas que las de la SN2011fe. En todos los paneles, mientras que la evolución de la SN2011fe se sitúa por encima de otras SNe Ia CN, la SN2014J se encuentra en a parte inferior del grupo BL, muy cercano al grupo CN, de acuerdo con lo encontrado en los diagramas espectroscópicos. La absorción de Si II $\lambda 6355$ se ha calculado a partir de \dot{v}_{10} en las dos SNe. La SN2014J muestra un gradiente de velocidad de $-58.4 \pm 7.3 \text{ km s}^{-1} \text{ d}^{-1}$, y la SN2011fe de $-56.0 \pm 4.8 \text{ km s}^{-1} \text{ d}^{-1}$, de acuerdo con Pereira et al. (2013), que da un valor $-59.6 \pm 3.2 \text{ km s}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Aunque \dot{v}_{10} para la SN2014J es más alto que para la SN2011fe, ambos valores son muy similares.

La Figura 6.9 muestra la evolución de la anchura pseudo-equivalente de los ocho iones con líneas de absorción más intensas medidas en este trabajo. También se dibuja la evolución promedio (y la desviación estándar, 1σ) de pW para cada uno de los grupos definidos en el diagrama de Br06, obtenidos midiendo las pW de la muestra de CSP. En todos los paneles, las líneas de BL y CN están sobre estos datos, haciendo difícil el asociar los objetos a cualquiera de estos grupos. Las diferencias son más claras en la evolución de los grupos SS y CL. Las SNe Ia CL muestran un valor mayor de pW para Mg II y Si II $\lambda 5972$, y menor para S II, mientras que las SS tienen valores de pW más bajos en todos los iones excepto en la absorción de S II.

La SN2014J parece estar asociada a las BL si se tiene en cuenta el comportamiento del pW del Ca II H&K. Los valores altos tempranos son característicos de este grupo comparados con los del grupo CN y con los de la

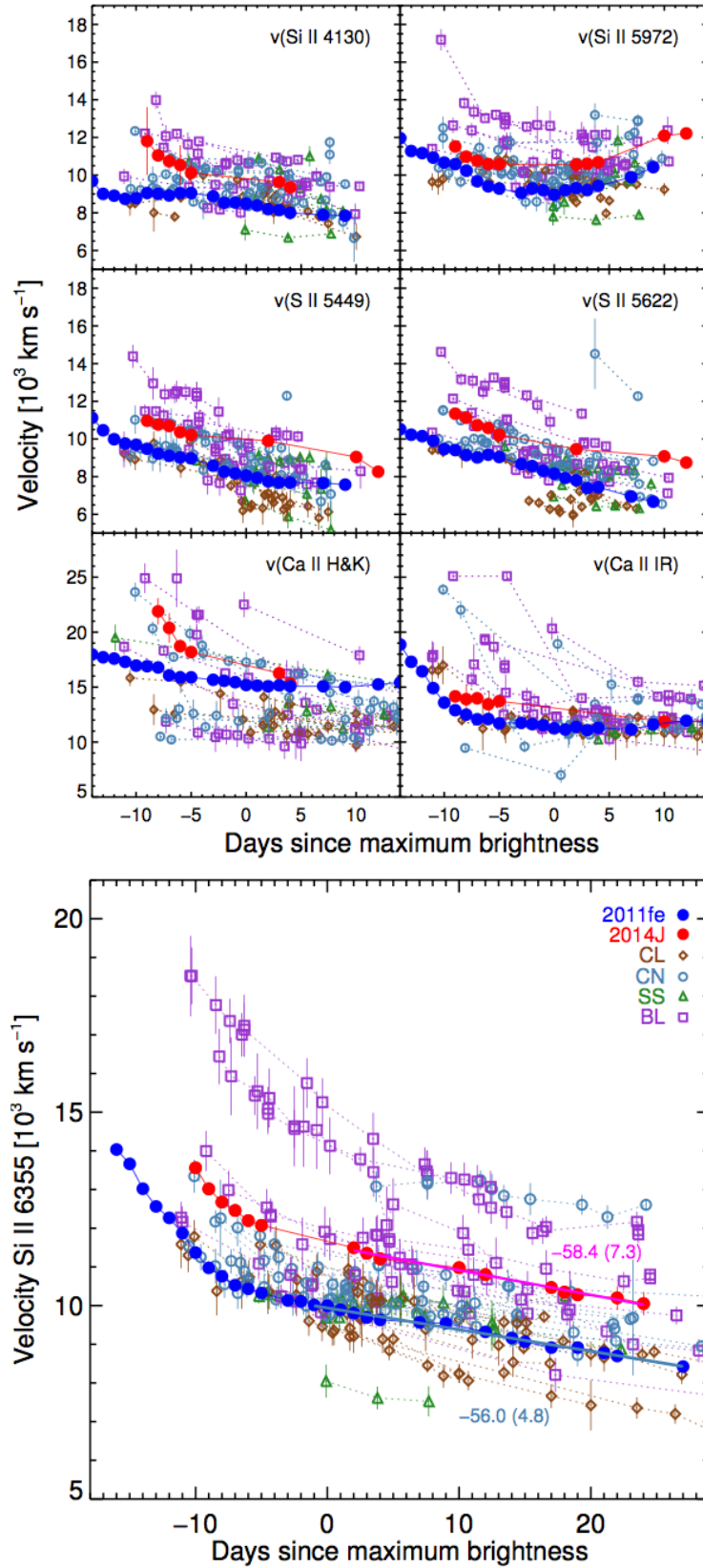


Figura 6.8 Evolución de la velocidad de los principales iones en los espectros de SN Ia. En el panel de arriba se comparan pares de Si II, S II y Ca II, mientras que en el panel de abajo se representa la evolución de la velocidad de absorción de Si II $\lambda 6355$. Las SN2011fe y SN2014J se superponen a la muestra de CSP.

SN2011fe. Esto se confirma por los valores bajos de pW encontrados en la fase de post-máximo para la SN2014J y en el grupo de las BL para la especie Si II W, y los valores ligeramente más altos de pW para Si II $\lambda 4130$, Si II $\lambda 5972$, Fe II, y Ca II IR. Para el Mg II solo podemos medir pW hasta ~ 10 días después del máximo y no se pueden sacar conclusiones para una fase tan temprana. Finalmente, la evolución de pW para Si II $\lambda 6355$ tanto para la SN2011fe como para la SN2014J es muy similar, aunque el valor en el máximo de luminosidad es superior para la SN2014J. En general, el grupo BL cubre la evolución de la SN2014J, y la evolución de los pW s de la SN2011fe siguen la línea que marca el grupo CN. Sin embargo ambas son muy similares, lo que acentúa su proximidad dentro de los dos grupos.

6.4.3. Propiedades espectrales vs. $\Delta m_{15}(B)$

El panel superior de la Figura 6.10 muestra la correlación existente entre $R(\text{Si II})$ y Δm_{15} . Como $R(\text{Si II})$ es un *trazador* de la temperatura, y Δm_{15} lo es de la luminosidad, la dispersión que introducen los objetos LVG en la relación entre el grupo HVG y el grupo de SNe Ia débiles se puede interpretar como una necesidad de un parámetro físico diferente, a parte de la temperatura, para explicar la heterogeneidad de las SNe Ia. Tanto la SN2011fe como la SN2014J siguen una tendencia lineal y en este diagrama la SN2014J se encuentra más cerca de las SNe Ia LVG.

En la Figura 6.8 se puede ver que ambas supernovas tienen gradientes de velocidad similares. Sus Δm_{15} , 1.06 ± 0.06 para la SN2014J, promediando los valores dados en Tsvetkov et al. (2014); Ashall et al. (2014); Marion et al. (2015); Kawabata et al. (2014), y 1.11 ± 0.07 para la SN2011fe, de Tammann y Reindl (2011); Richmond y Smith (2012); McClelland et al. (2013); Pereira et al. (2013), son también similares, por lo que en el panel inferior de la Figura 6.10 se encuentran situadas justo en la región existente entre los grupos HVG y LVG. En esta figura se han pintado los puntos de Be05 y de CSP. Se puede ver cómo concuerdan con las regiones definidas por sus clasificaciones. Las SNe Ia débiles tienen valores altos de \dot{v} y de Δm_{15} , mientras que el resto de objetos presentan valores bajos de Δm_{15} y vienen separados por su \dot{v} . Aquí, el gradiente de la velocidad de expansión, \dot{v} parece que correlaciona de manera muy débil con Δm_{15} para las SN Ia LVG y débiles, mientras que para las SNe Ia HVG se separan de las LVG gracias a su alto \dot{v} .

En todos estos de diagramas diagnósticos la SN2014J presenta características de SNe Ia BL/HVG, situándose cerca de los límites con las SNe Ia CN/LVG. La SN2011fe está en una situación opuesta: cae en la región CN/LVG, muy cerca de las BL/HVG. De acuerdo con los parámetros estudiados, las diferencias entre las SNe 2011fe y 2014J se encuentran dentro de las incertidumbres. Parece que se describe mejor a las SNe Ia como un continuo que como distintas subclases, y la SN2011fe y la SN2014J, al estar tan cerca de los límites de sus subclases, parece evidente que estas subclasi-

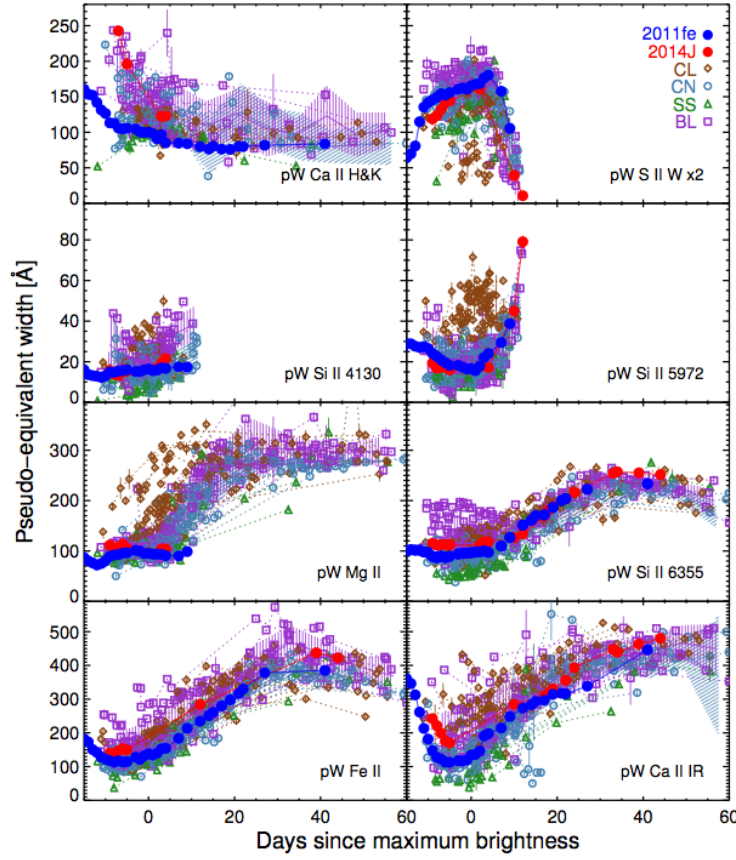


Figura 6.9 Evolución de las anchuras pseudo-equivalentes de la muestra de CSP, junto con la de la SN2011fe (azul) y SN2014J (rojo).

ficaciones son artificiales.

6.5. Conclusiones

Se ha presentado una compilación de 27 espectros observados entre el 22 de enero y el 1 de septiembre de 2014 con los telescopios 2.5m INT y 4.2m WHT, en el Observatorio del Roque de los Muchachos, La Palma. Las observaciones se tomaron con diferentes instrumentos y distintas configuraciones instrumentales. Se han descrito estas configuraciones y el proceso de reducción de los datos brutos.

Se han medido varios parámetros espectrales, incluyendo velocidades, anchuras pseudo-equivalentes, profundidades de absorción para los principales elementos característicos y se ha estudiado su evolución en el tiempo. Con esta información, y utilizando la SN2011fe como comparación, se ha discutido la posición de la SN2014J en los diagramas de Benetti et al. (2005), Branch

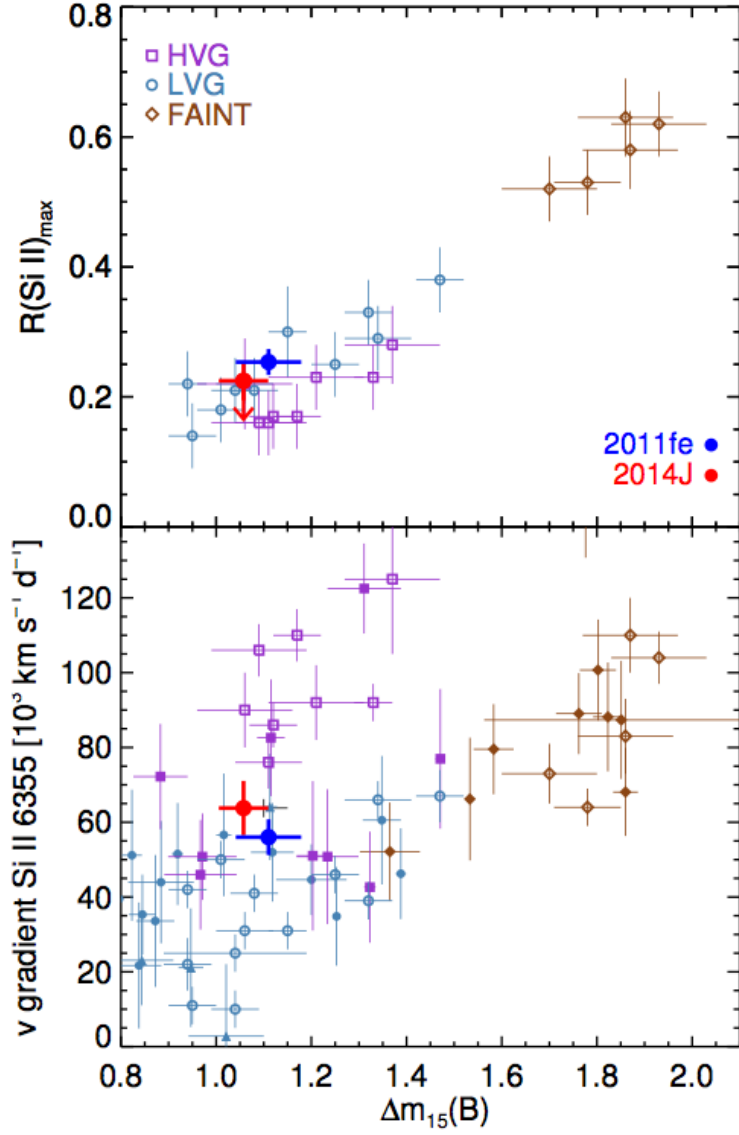


Figura 6.10 $R(\text{Si II})$ y $v(\text{Si II } \lambda 6355)$ en función de Δm_{15} . Datos de Altavilla et al. (2009) y Benetti et al. (2005) con la SN2011fe en azul y la SN2014J en rojo, situadas de manera que ambas son consideradas como objetos intermedios entre los grupos HVG y LVG.

et al. (2006) y Wang et al. (2009), mostrando que se trata de un objeto intermedio entre las SNe Ia CN y las BL (según Br06), también intermedio entre las HVG y LVG (según Be05), y entre los grupos normal y de alta velocidad (según Wa09). La diferencia más notoria entre estos dos objetos es la diferencia de 1500 km s^{-1} en sus velocidades de expansión de Si II $\lambda 6355$ en torno a la máxima luz, según lo visto en Wa09. La información que dan estos diagramas tiene más que ver con el estado de la eyección que con los mecanismos de explosión de los escenarios progenitores. En ese sentido, las subclases propuestas se describen mejor como una secuencia continua que como grupos diferenciados. Todas estas evidencias apoyan la clasificación de la SN2014J como un evento estándar, y similar a la mayoría de las SNe Ia útiles para medir distancias cosmológicas.

Capítulo 7

Galaxias de SDSS

En este capítulo se va a resumir la estimación de abundancias en una muestra de galaxias anfitrionas de SNe Ia para un rango intermedio de redshift ($z < 0.4$).

7.1. Selección de la muestra

7.1.1. SDSS-II Supernova Survey

El Sloan Digital Sky Survey-II Supernova Survey (SDSS-II/SNe) (Friedman et al., 2008) ha identificado y medido curvas de luz de supernovas en un rango intermedio de redshift ($0.01 < z < 0.45$) durante tres campañas de observación, en los meses de otoño de 2005 a 2007, utilizando el telescopio 2.5m en el Observatorio de Apache Point (Gunn et al., 1998, 2006). Todas estas SNe están ubicadas en Stripe 82, una región de 2.5 grados de ancho por el Ecuador Celeste, desde $-50 < RA < 59$ en el hemisferio sur galáctico (Stoughton et al., 2002). Estas observaciones han supuesto la confirmación espectroscópica de 536 SNe Ia (sp-Ia) y de 914 eventos transitorios clasificados fotométricamente como SNe Ia (ph-Ia) a través de sus curvas de luz (Sako et al., 2014), y haciendo uso de los redshifts espectroscópicos de sus galaxias anfitrionas medidas por el SDSS Legacy Survey (York et al., 2000), o bien por el BOSS Survey (Dawson et al., 2013). Además, se han añadido a esa muestra 16 SNe Ia obtenidas en el programa piloto de SDSS-II/SNe ejecutado en 2004.

Se han seleccionado aquellas SNe Ia para las cuales se dispone de espectros ópticos de sus galaxias anfitrionas en el SDSS Data Release 12 (DR12, Alam et al., 2015). De un set inicial de 1466 galaxias, 1136 (348 sp-Ia y 788 ph-Ia) han superado este criterio.

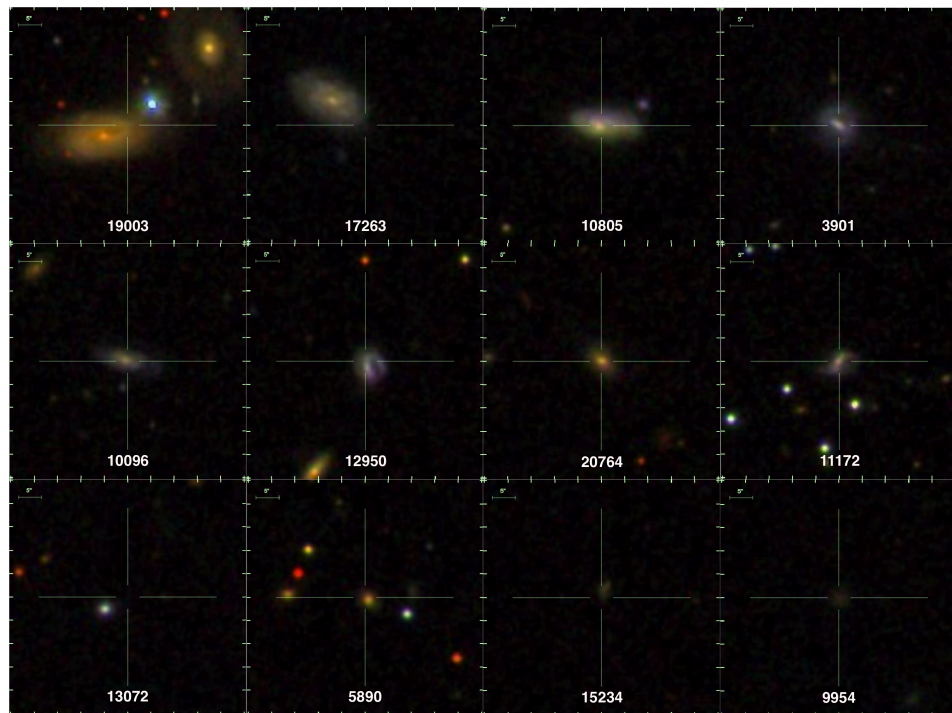


Figura 7.1 Imágenes de una muestra de galaxias sacadas del SDSS DR12, ordenadas de mayor a menor tamaño angular.

7.1.2. La compilación Union2.1

Se ha repetido el procedimiento explicado en la subsección anterior para las SNe Ia de la compilación Union2.1 (Suzuki et al., 2012) que contiene SNe de varios trabajos previos con curvas de luz de buena calidad, disponibles para usar con fines cosmológicos. De una muestra inicial de 580 SNe Ia se encontraron 60 con espectro óptico de su galaxia anfitriona disponible en el SDSS DR12. Estas 60 SNe Ia conforman el límite inferior en *redshift* de Union2.1, entre 0.015 y 0.17.

7.1.3. Muestra espectroscópica de galaxias anfitrionas

La muestra espectral de galaxias anfitrionas de SNe Ia la conforman 1196 objetos: 1136 de SDSS-II/SNe y 60 de Union2.1. La Figura 7.1 muestra una serie de cartas de localización obtenidos del SDSS DR12 de las galaxias anfitrionas, ordenados por tamaño aparente. Los espectros medidos presentan diferencias en cuanto a su calidad y medición. Esto se debe a la presencia de líneas de cielo, un ratio señal ruido bajo, o la falta de líneas intensas, siendo éstas débiles. Una muestra representativa de los espectros seleccionados puede verse en la Figura 7.2, donde se muestran cuatro espectros¹ extraídos de cuatro galaxias mostradas en la Figura 7.1.

Los espectros se obtuvieron con una fibra de 2" para los obtenidos con BOSS y de 3" de diámetro para los espectros de SDSS, apuntada al centro de cada galaxia, de manera que cuando se analiza cada espectro no se analiza el espectro integrado de la galaxia, sino el de la parte central de cada una. Esto podría suponer una diferencia importante entre las metalicidades reales de las zonas en las que las SNe tuvieron lugar con las determinadas a partir de los centros galácticos como consecuencia de la existencia de los gradientes de abundancia encontrados en galaxias espirales (Henry y Worthey, 1999; Mollá y Díaz, 2005).

7.2. Medidas de las líneas y naturaleza de la emisión

Los espectros se han corregido por extinción de la Vía Láctea con los mapas de Schlegel et al. (1998) aplicando la ley de enrojecimiento Galáctico estándar con $R_V = 3.1$ (Cardelli et al., 1989; O'Donnell, 1994). Los espectros se posicionan entonces en longitud de onda en reposo.

Para los 1136 espectros se han intentado medir siete líneas de emisión: tres líneas de hidrógeno de Balmer ($H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$) y las líneas de excitación colisional más brillantes de elementos metálicos: $[O\ II]\ \lambda\lambda 3726, 29$, $[O\ III]\ \lambda 5007$, $[N\ II]\ \lambda 6583$, $[S\ II]\ \lambda\lambda 6716, 31$. Las intensidades de las líneas y sus anchuras

¹El rango de longitud de onda en el reposo cubre desde los 3700 hasta los 9000 Å.

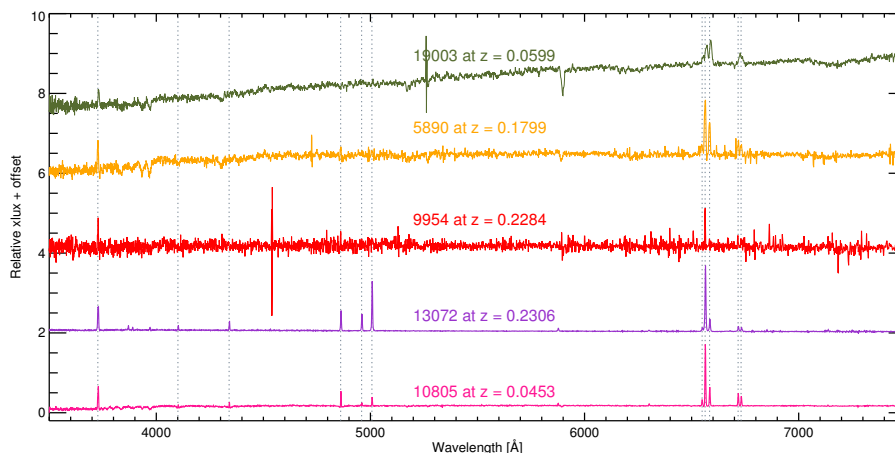


Figura 7.2 Cuatro espectros típicos para la muestra seleccionada.

equivalentes se han medido integrando toda la emisión entre los límites de la línea de emisión sobre el continuo adyacente. Todas las medidas se han realizado con la tarea SPLIT de IRAF. Debido a que algunas líneas se muestran extremadamente débiles en muchos espectros, se ha necesitado una inspección detallada y manual, individualizada para cada espectro para estimar un valor exacto del continuo adyacente a las líneas. Es importante enfatizar la importancia de este paso, porque el flujo de las líneas muy débiles normalmente se sobreestima si se hace automáticamente.

Para cada línea de emisión (en particular para las líneas de hidrógeno de Balmer, ya que están afectadas por la absorción de las componentes estelares de las galaxias) se han considerado varias medidas en niveles de continuo ligeramente diferentes. Para cada espectro, se eligen los flujos que proporcionan el mejor ajuste y que minimizan la incertidumbre de las propiedades derivadas (coeficiente de enrojecimiento y abundancia de oxígeno). Se pone como condición que los espectros presenten líneas de $H\alpha$, $H\beta$, y $[N II] \lambda 6583$ con una significancia mayor a 5σ . Para las otras líneas de emisión se requiere también que sean detectadas como mínimo a 3σ . Con estos cortes la muestra resulta en 432 galaxias de SDSS y 23 de Union2.1, lo que hace una muestra final de 455 galaxias. La Figura 7.3 muestra la distribución en *redshift* para la muestra final, tanto de todas las galaxias iniciales como de las útiles que presentan líneas de emisión. Se trata muestra representativas SDSS y Union2.1.

El primer paso, al igual que en Capítulo 5, es buscar la naturaleza de la ionización del gas para las galaxias de la muestra. Para ello, se hace uso de los diagramas de diagnóstico explicados en la Sección 3.3. La Figura 7.4 muestra la clasificación de las 490 galaxias en tres grupos bien diferenciados. Las galaxias cuya emisión viene de pura formación estelar, notadas como SF

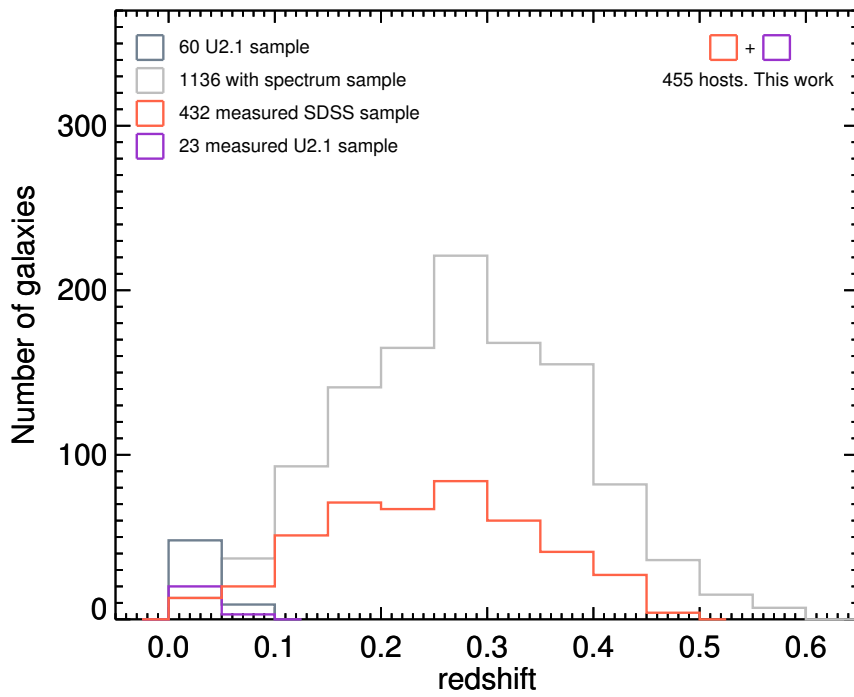


Figura 7.3 Histograma que muestra la distribución de la muestra inicial de galaxias en SDSS DR12. En rojo (SDSS) y en violeta (Union2.1) la muestra analizada extendida en *redshift*. En gris oscuro, las 60 galaxias con espectro de Union2.1, y en gris claro, las 1136 galaxias con espectro disponible en SDSS.

(*Star Forming*) con puntos azules, y que se sitúan por debajo de la línea empírica de Kauffmann et al. (2003); las emisiones que vienen como consecuencia de AGNs se sitúan en la Figura por encima de la línea teórica propuesta por Kewley et al. (2001), y se marcan con color rojo. Los objetos que se sitúan entre las dos líneas, se etiquetan como de naturaleza compuesta (*Composite*, en color amarillo), y sus líneas pueden deberse a la ionización de estrellas masivas, o a choques existentes en un AGN. Aunque se ha propuesto que puedan ser regiones de pura formación estelar con alto contenido de nitrógeno debido a vientos solares masivos como los que ocurren en las estrellas Wolf-Rayet. El panel izquierdo de la Figura 7.4 muestra el diagrama utilizando los ratios $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ frente a $[\text{N II}] \lambda 6583 / \text{H}\alpha$, mientras que el panel derecho lo hace mediante los cocientes $[\text{O III}] \lambda 5007 / \text{H}\beta$ frente a $[\text{S II}] \lambda \lambda 6716, 31 / \text{H}\alpha$. En total, se han clasificado 348 regiones de formación estelar, 76 compuestas, y 31 AGNs (27 de SDSS y 4 de Union2.1).

Existen zonas de alto ruido alrededor de las líneas de $[\text{S II}] \lambda \lambda 6717, 31$ en un 38 % de los espectros, de manera que no se puede estimar el cociente $[\text{S II}] / \text{H}\alpha$ para estimar su posición en el correspondiente diagrama de diagnóstico. Para evitar sesgar la muestra estas galaxias no se eliminan de la muestra, ya que la naturaleza de sus emisiones pueden ser evaluada con el otro diagrama de diagnóstico. Las incertidumbres de los flujos de las líneas han sido estimados considerando tanto el ancho de la línea de emisión como el *rms* del continuo adyacente.

7.3. Corrección por enrojecimiento de la galaxia anfitrión

Al igual que en la muestra de galaxias locales expuesta (Capítulo 5), las líneas han de corregirse por efecto de extinción galáctica. Se trata de un proceso análogo al desarrollado en la Sección 5.3. La Figura 7.5 muestra el coeficiente $c(\text{H}\beta)$ obtenido a partir del ratio $I(\text{H}\alpha)/I(\text{H}\beta)$ en función de la abundancia de oxígeno estimada finalmente (ver Sección 7.4). La línea discontinua roja indica el caso para el cual no habría enrojecimiento. En la mayoría de las galaxias SF el enrojecimiento es inferior a 1.0 dex, siendo el valor medio de ~ 0.4 dex; para las galaxias clasificadas como *Composite* llegan a valores de hasta 1.5 dex.

7.4. Abundancias de oxígeno

Hemos utilizado aquí una serie de métodos empíricos (ver Capítulo 3) para obtener las abundancias de oxígeno de la muestra. Primero, se han utilizado las calibraciones de Pettini y Pagel (2004), a partir de aquí PP04, que tienen en cuenta tanto el parámetro $N2$ como el $O3N2$, para tener una

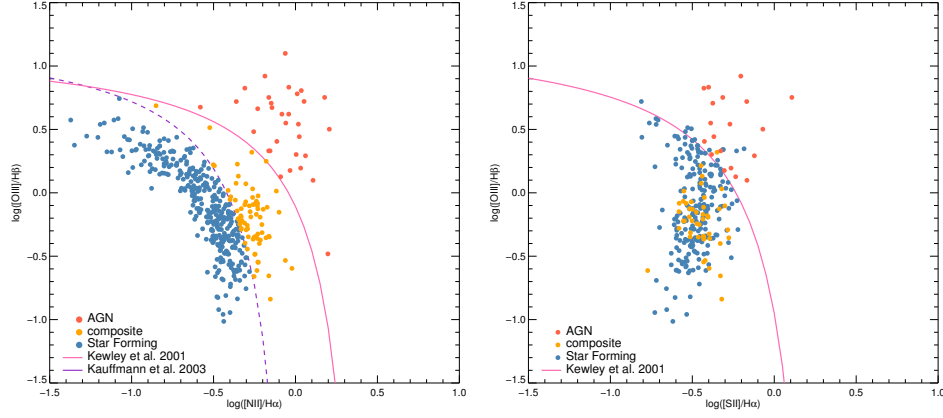


Figura 7.4 Comparación de los flujos observados para los cocientes $[\text{O III}] \lambda 5007/\text{H}\beta$ y $[\text{N II}] \lambda 6583/\text{H}\alpha$ para el panel de la izquierda y $[\text{S II}] \lambda\lambda 6716, 31/\text{H}\alpha$ para el panel de la derecha, obtenidos para la muestra de galaxias. La línea teórica propuesta por Kewley et al. (2001) está representada por la línea continua rosa en ambos paneles, mientras que la línea empírica obtenida por Kauffmann et al. (2003) es la rayada púrpura representada únicamente en el panel de la izquierda. Los puntos rojos indican las galaxias clasificadas como AGNs, los amarillos poseen una naturaleza compuesta, mientras que los azules representan galaxias con pura formación estelar.

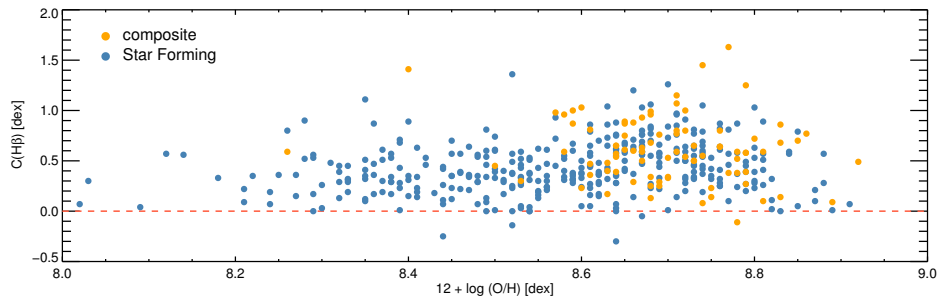


Figura 7.5 Coeficiente de enrojecimiento $c(\text{H}\beta)$ obtenido para la muestra de galaxias clasificada como Star Forming (círculos azules) y Composite (círculos amarillos) en función de la abundancia de oxígeno $12 \log(\text{O}/\text{H})$. La línea discontinua roja representa la línea de enrojecimiento $c(\text{H}\beta) = 0$.

primera aproximación de la metalicidad. Estos valores son posteriormente utilizados para restringir las líneas teóricas de Balmer de H I. Una vez que se conoce la corrección por enrojecimiento, se calculan las abundancias de oxígeno utilizando las calibraciones dadas por Pilyugin (2001); Pilyugin y Thuan (2005, a partir de ahora P01 y PT05, respectivamente)—basadas en la T_e y considerando los parámetros R_{23} y P — y las calibraciones de Kobulnicky y Kewley (2004, a partir de aquí KK04) — que están basados en modelos de fotoionización y consideran los parámetros R_{23} e y —. Para este segundo caso, se sabe bien (López-Sánchez y Esteban, 2010) que los métodos SEL que se basan en modelos de fotoionización sobreestiman las abundancias de oxígeno dadas por aquellos SEL basados en T_e entre 0.2-0.4 dex. En consecuencia, se utiliza la relación dada por Lara-López et al. (2009) para convertir los valores de KK04 a valores basados en T_e . Para el rango de alta metalicidad, $12+\log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.4$, también se ha utilizado el parámetro $N2O2$ —corregido por enrojecimiento— con la calibración propuesta por Kewley y Dopita (2002) a partir de aquí KN2O2. Todos estos resultados vienen recogidos en la Tabla C.2 donde, se da para cada SN Ia, numerada por su número de identificación de SDSS-II (excepto aquellas de Union2.1, ubicadas al final de la tabla, con la notación usual de la IAU): la naturaleza del espectro (únicamente se han incluido aquí las galaxias SF y C) en la columna 2; el coeficiente de enrojecimiento $c(\text{H}\beta)$ en la columna 3; y la anchura equivalente de $\text{H}\alpha$ en la columna 4. En las columnas 5 a 11 se dan las abundancias de oxígeno $12+\log(\text{O}/\text{H})$ obtenidas por las calibraciones empíricas P01, PT05, M13 usando $O3N2$ (nombrada M13a), M13 usando $N2$ (nombrada M13b), PP04 utilizando $N2$ (nombrada PP04a), PP04 utilizando $O3N2$ (nombrada PP04c), KK04 corregida para la escala de T_e (nombrada KK04T), y KN2O2. En la columna 12 se muestra la abundancia final adoptada, siguiendo los criterios dispuestos a continuación.

Para el rango de metalicidad intermedio $8.0 \leq 12+\log(\text{O}/\text{H}) \leq 8.4$, se han promediado los valores proporcionados por las relaciones de alta y baja metalicidad en todas las calibraciones que consideran el parámetro R_{23} . Este promedio se obtiene pesando las ecuaciones considerando las abundancias de oxígeno proporcionadas por PP04. Por ejemplo, si un objeto tiene $12+\log(\text{O}/\text{H}) = 8.3$ obtenida a partir de los parámetros $N2$ y $O3N2$, se asume que la abundancia de oxígeno que dan las calibraciones basadas en el parámetro R_{23} es 1/4 el valor de la calibración de baja metalicidad, y 3/4 el valor de la ecuación de alta metalicidad. Finalmente se considera que, para la muestra de galaxias, son válidos los resultados proporcionados por las calibraciones PP04a, PP04c, KK04T, KN2O2, M13a y M13b.

El valor adoptado como definitivo para la abundancia de oxígeno es el promedio de todo los resultados válidos, teniendo en cuenta que algunas calibraciones no son válidas en todo el rango de metalicidades: $N2$ sólo es válido para $12+\log(\text{O}/\text{H}) \leq 8.65$; $O3N2$ sólo puede aplicarse cuando $12+\log(\text{O}/\text{H}) \geq 8.10$;

y $N2O2$ solo tiene validez si $12+\log(O/H) \geq 8.40$.

La Figura 7.6 representa los residuos de las abundancias dadas por las calibraciones PP04a, PP04c, KK04T, KN2O2, M13a y M13b en función de la abundancia de oxígeno adoptada.

Por último, la Figura 7.7 muestra los residuos de las calibraciones P01 y PT05 frente a la abundancia adoptada. En este caso, se puede ver que hay un gran desacuerdo entre estas dos calibraciones y el resto, que ofrecen resultados consistentes las unas con las otras. Sin embargo, por alguna razón P01 y PT05 no funcionan.

Las incertidumbres típicas para las abundancias de oxígeno determinadas mediante métodos SEL rondan los 0.1 dex. Para estimar errores para las abundancias adoptadas se tiene en cuenta la dispersión de los valores de cada una de las abundancias dados por las calibraciones válidas, y nunca será inferior a la suma cuadrática de los errores individuales – por ejemplo, si sólo se usan dos calibraciones para determinar la final, el error final no será inferior a $1/\sqrt{1/0.10^2 + 1/0.10^2} = 0.07$ dex –.

La distribución de abundancias finalmente adoptadas se muestran en la Figura 7.8 en forma de histograma. El valor solar está marcado como una línea vertical.

Comparación con el método directo

Para seis objetos se ha podido medir la línea auroral $[O III] \lambda 4363$. Para estos casos, se ha obtenido también la abundancia de oxígeno y el cociente N/O utilizando el método directo. La Figura 7.9 muestra las diferencias entre los métodos empírico y directo. La Tabla C.3 recoge las líneas adicionales que han de ser medidas para poder realizar el cálculo de la abundancia por el método directo. La columna 1 muestra el nombre de las SNe Ia, la columna 2 define la naturaleza de emisión de las galaxias (sólo SF y C). Las columnas 3 y 4 dan las temperaturas electrónicas para las zonas de alta y baja ionización, respectivamente. Las intensidades de las líneas de emisión adicionales: $\frac{[O III] \lambda 4363}{H\beta}$, $\frac{[O III] \lambda 4959}{H\beta}$ y $\frac{[N II] \lambda 6548}{H\beta}$, en unidades de $I(H\beta) = 100$, con sus errores, en las columnas 5 a 10. Para cada línea se muestra la intensidad observada $I(\lambda)$ y la teórica, corregida por enrojecimiento, ${}_0(\lambda)$. Asimismo, la tabla C.4 muestra las abundancias directas obtenidas para estas seis galaxias

7.5. Masa de la galaxia anfitriona

Se han medido las masas galácticas usando STARLIGHT (Cid Fernandes et al., 2009; Mateus et al., 2006; Asari et al., 2007), un programa que ajusta espectros de galaxias en reposo con una combinación lineal de modelos espectrales de poblaciones estelares simples (SSP) de diferentes edades y metalicidades. La contribución de las diferentes SSPs que mejor describe

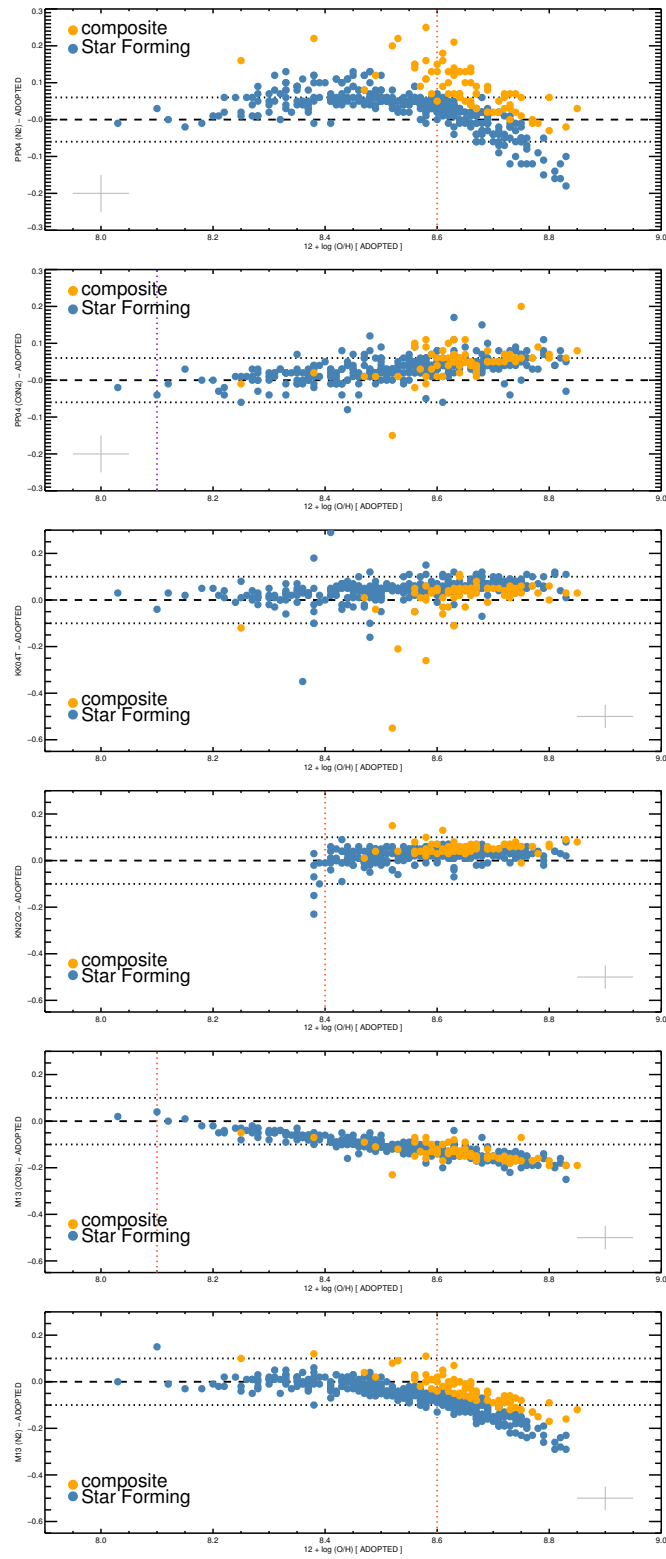


Figura 7.6 Comparación de abundancias. Círculos amarillos se corresponden con las galaxias Composite (AGN/Star Forming), mientras que los azules son galaxias Star Forming.

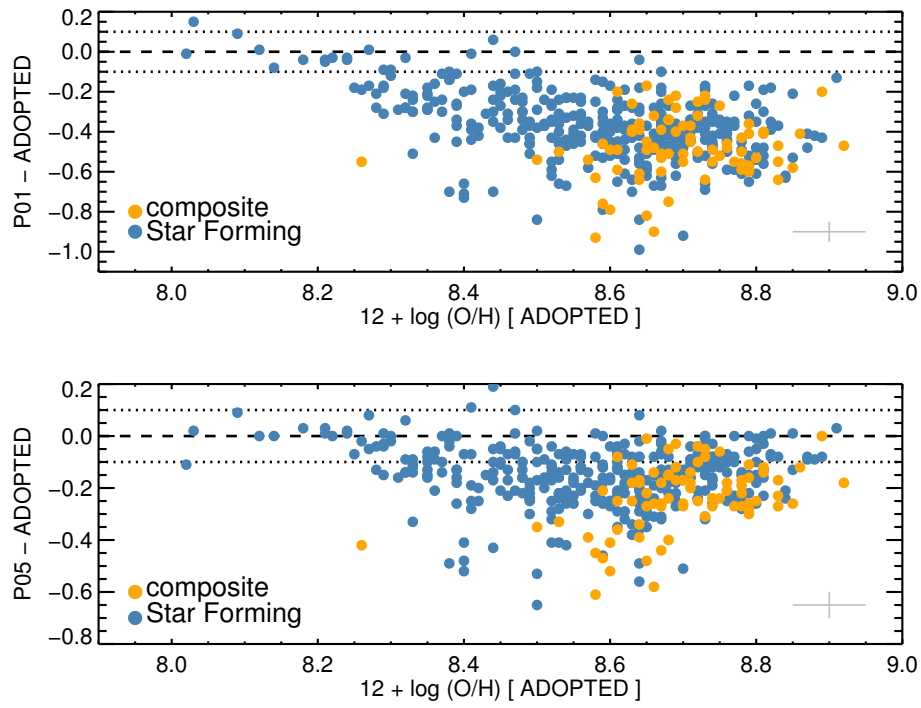


Figura 7.7 Abundancias de Pilyugin comparadas con las adoptadas. Círculos amarillos se corresponden con las galaxias Composite (AGN/Star Forming), mientras que los azules son galaxias Star Forming.

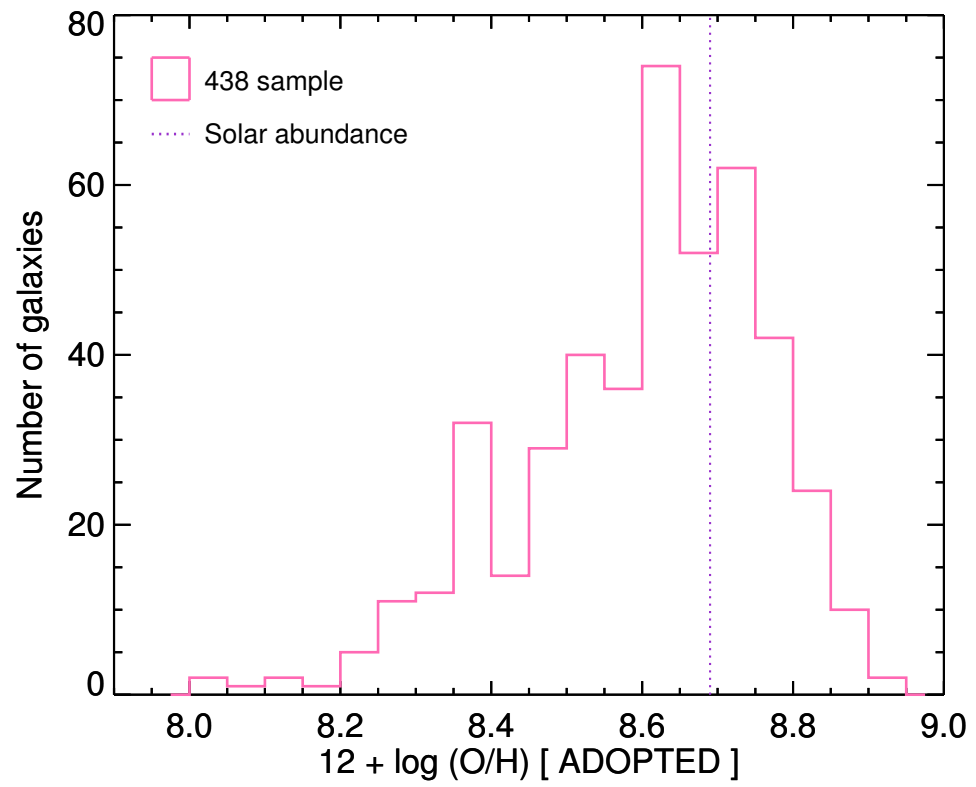


Figura 7.8 Histograma de las abundancias obtenidas. El valor solar dado por Asplund et al. (2009) se representa mediante la línea punteada púrpura.

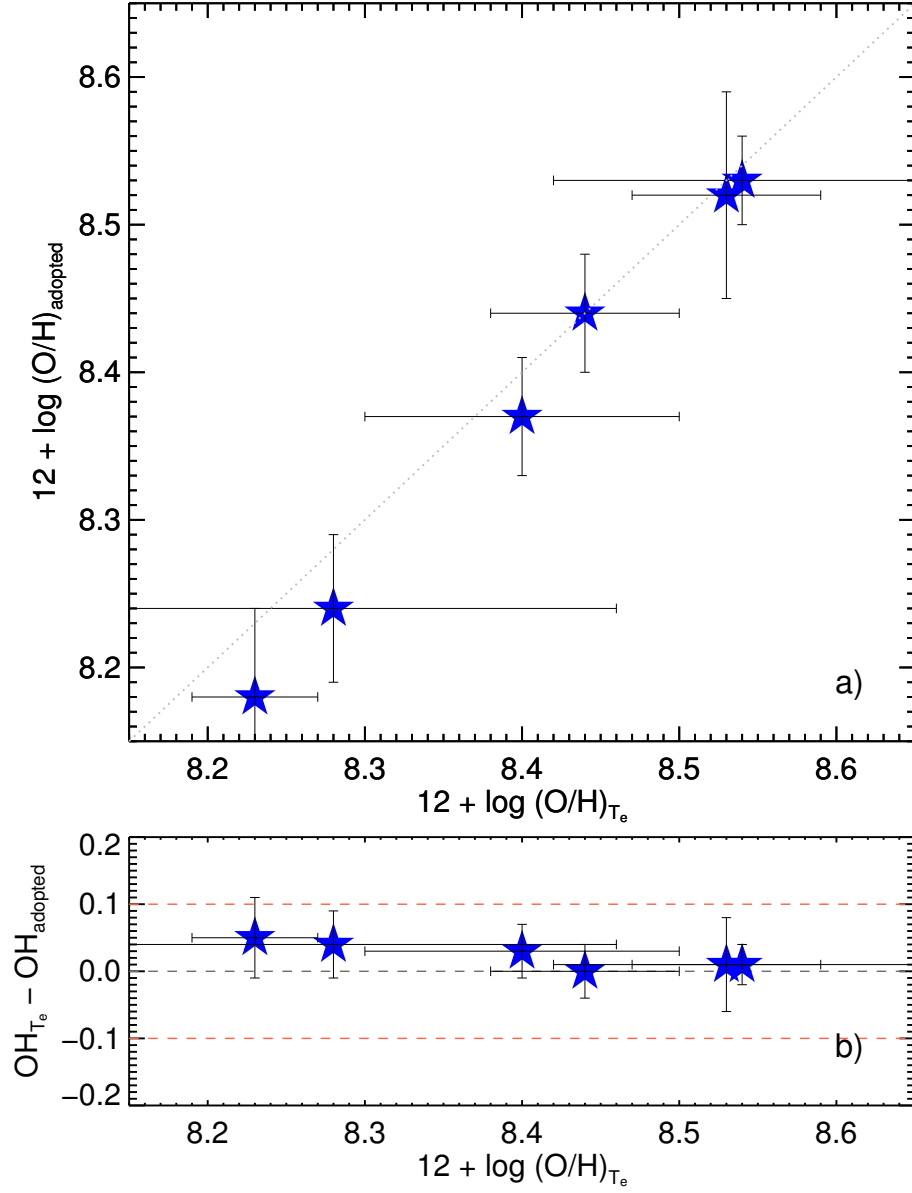


Figura 7.9 Diferencias entre las abundancias calculadas por el método directo y por las calibraciones empíricas.

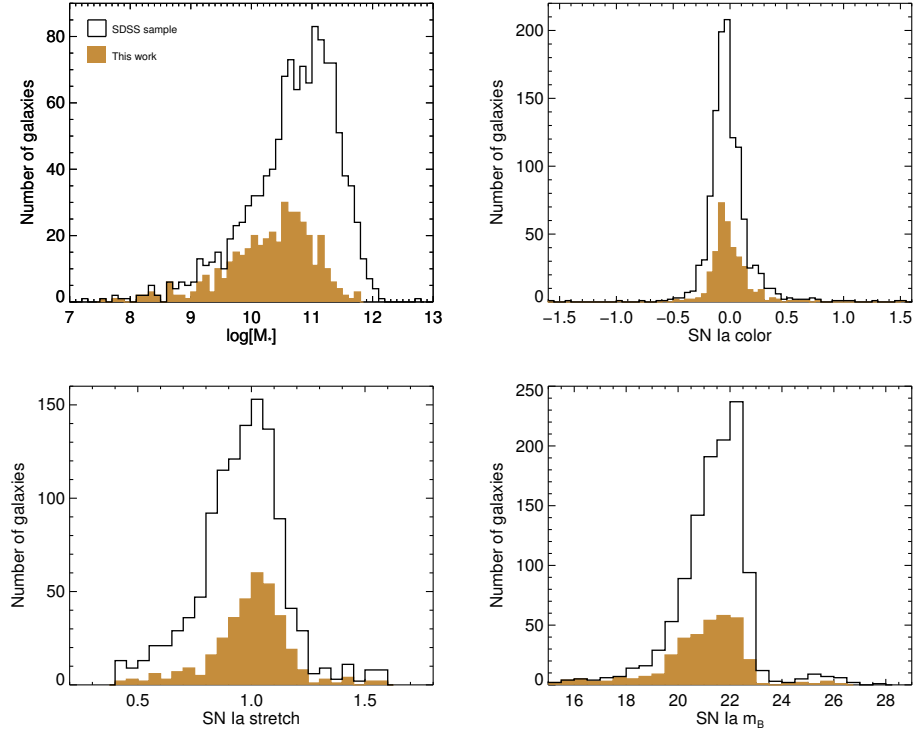


Figura 7.10 Propiedades de las muestras completas de SNe de SDSS y Union2.1 y la muestra de esta tesis (histogramas dorados). Arriba izquierda: distribución de masas de las galaxias. Arriba derecha: Color de las SNe Ia. Abajo izquierda: Anchura de la curva de luz. Abajo derecha: distribución de las magnitudes aparentes de las SNe Ia, m_B .

el modelo original se usa para estudiar las propiedades de las poblaciones estelares de las galaxias. La Figura 7.10 muestra la distribución de las masas comparada con la de todas las masas de SDSS y Union2.1.

Se ha dividido la muestra en dos grupos de masa: alta y baja masa, con el límite situado en $\log[M_*/M_\odot] = 10.4$, que es la mediana de la distribución. El panel izquierdo de la Figura 7.11 muestra cómo varía la abundancia de oxígeno en función del redshift. Para galaxias más masivas, la variación es mayor:

$$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{\text{alta}} = -0.29[\pm 0.26] \times z + 8.77[\pm 0.07] \quad (7.1)$$

$$12 + \log(\text{O}/\text{H})_{\text{baja}} = 0.002[\pm 0.253] \times z + 8.49[\pm 0.06] \quad (7.2)$$

Las galaxias poco masivas muestran poca variación de la metalicidad con el *redshift* en parte porque hay mayor dispersión en el rango de datos. No obstante, es interesante ver cómo las galaxias más masivas (mayor ritmo de

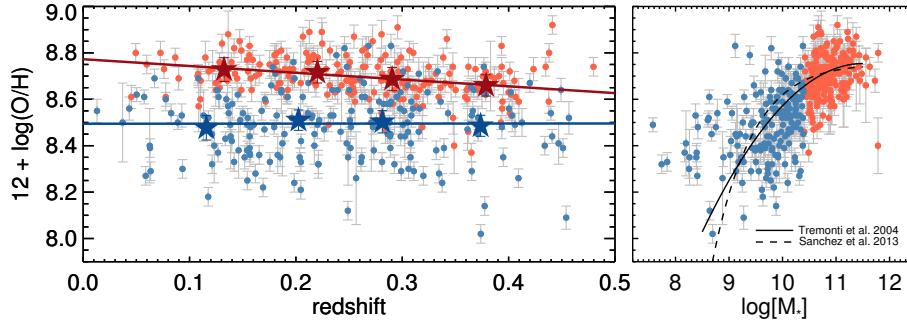


Figura 7.11 Izquierda: Distribución de las metalicidades de las galaxias de SDSS en función del *redshift* para dos promedios de masa $M_{baja} < 10^{10} M_{\odot} < M_{alta}$ y sus ajustes. Derecha: Relación masa-metalicidad con las ecuaciones de Tremonti et al. (2004) escalada y Sánchez et al. (2013) superpuestas.

formación estelar, y por ende más activas) se ven más afectadas que las poco masivas, que presentan un comportamiento más pasivo.

El panel derecho de la figura 7.11 muestra la relación masa-metalicidad para la muestra de SDSS y Union2.1, comparada con la relación de Tremonti et al. (2004) escalada, y con la encontrada por Sánchez et al. (2013).

La figura 7.12 muestra las distribuciones de los bins de masa y de metalicidad. Al igual que en masa, la muestra se ha dividido en dos rangos de metalicidad, con la división establecida en $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8.6$, al ser este valor la mediana de la distribución de metalicidades. En esa figura se muestran las distribuciones de estos grupos frente a redshift, masa y metalicidad.

Las masas de las galaxias, calculadas con STARLIGHT, se ajustan obteniendo un modelo que proporciona una señal a ruido. Si la señal a ruido del ajuste es menor de 3, esas galaxias no se considerarán en el posterior análisis. De las 341 galaxias que obteníamos tras el corte de calidad de las curvas de luz, nos quedamos con 252 galaxias con una determinación de masa fiable.

7.6. Parámetros de las curvas de luz de las SNe Ia y HD

Hemos hecho una compilación de datos de las LC de las SNe Ia de diferentes fuentes, y han sido ajustados con SiFTO (Conley et al., 2008) para obtener la magnitud aparente en B en el máximo (ya corregida por la extinción de la MW), anchura de la LC (s) y el color. Se les aplica a los datos un corte de calidad consistente en:

- Al menos 4 puntos entre -10 y $+35$ días del máximo.
- Al menos 2 puntos entre -10 y $+5$ días del máximo.

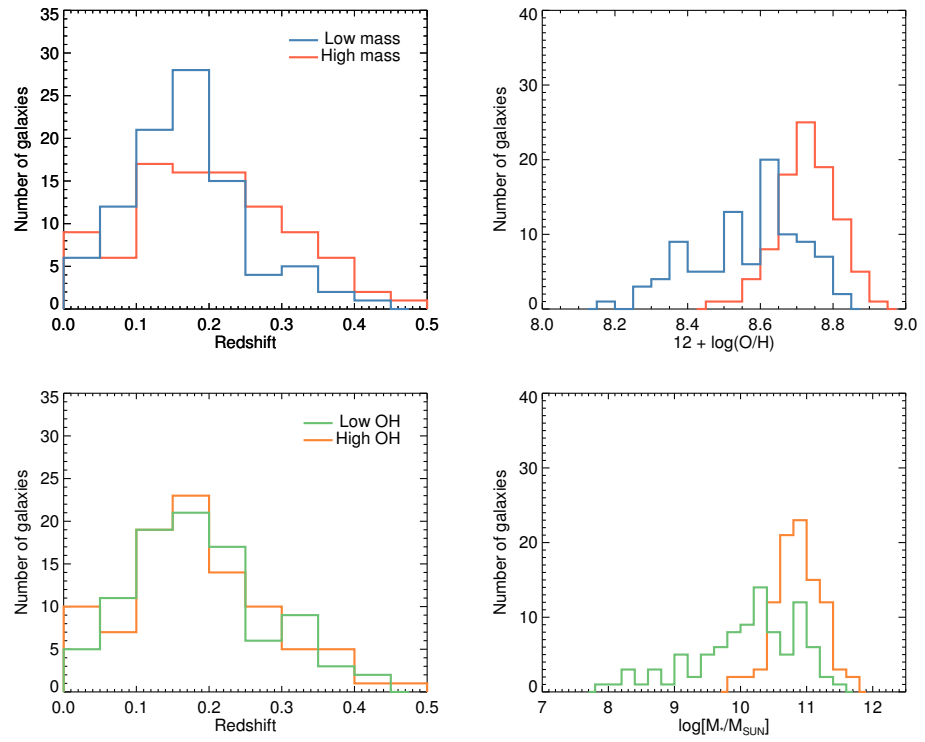


Figura 7.12 Distribuciones en redshift, masa y metalicidad para la muestra de galaxias de SDSS y Union2.1 separadas en bins de masa y de metalicidad.

- Al menos 1 punto entre +5 y +20 días del máximo.
- Al menos dos filtros con un mínimo de un punto entre -8 y +10 días del máximo.

De las 416 SNe Ia pertenecientes a galaxias clasificadas como SF o C, un 82% de ellas han pasado este corte de calidad, quedando la muestra reducida a 341 SNe Ia.

La Tabla C.5 compila para cada SN Ia, la m_B , corregida por extinción de la Vía Láctea, s y C , la columna 2 indica con un 1 si pasa el corte de calidad impuesto por las condiciones anteriores y con un 0 si no las supera.

El último corte en aplicar a la muestra consiste en hacer un sigma clipping en base al módulo de distancia. La Figura 7.13 muestra el Diagrama de Hubble para la muestra de SNe Ia de SDSS y Union2.1. Todos los datos que presentan un residuo superior a 1.5σ de la muestra total quedan eliminados. Con este último corte, de los 252 puntos restantes tras el último corte, quedan 179.

El módulo de distancia teórico (μ_z) se ha obtenido en base a la cosmología obtenida en Betoule et al. (2014), donde se obtiene que $\Omega_M = 0.295 \pm 0.034$ y se supone que $H_0 = 70 \text{ kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$. El módulo de distancia asociado a cada SN Ia (μ_{SN}) se obtiene con los parámetros (M_B, α, β) también de Betoule et al. (2014), donde obtienen (-19.05, 0.141, 3.101), y la magnitud aparente m_B obtenida con el ajuste de la curva de luz. Por tanto, la magnitud absoluta que usaremos para estas SNe Ia será: $M_B = m_B - \mu_{SN}$.

7.7. Correlaciones entre las SNe Ia y las galaxias anfitrionas

Para estudiar las posibles relaciones entre los parámetros de las SNe Ia y las propiedades de las galaxias se ha llevado a cabo una técnica de regresión lineal Bayesiana (ajustando a una función de la forma $y = mx + n$) utilizando el paquete LINMIX_ERR para IDL². Este método calcula una función de probabilidad para los datos utilizando un algoritmo Markov Chain Monte Carlo (MCMC). El modelo considera los errores en los dos parámetros de la relación lineal.

7.7.1. Metalicidad

Los paneles de la izquierda de la Figura 7.14 muestran las relaciones potenciales entre los parámetros de la SN Ia y la metalicidad de la galaxia anfitriona. La correlación entre la metalicidad de las galaxias con los residuos de Hubble, HR (del inglés *hubble residuals*) tiene una significancia de 1.2σ .

²Interactive Data Language

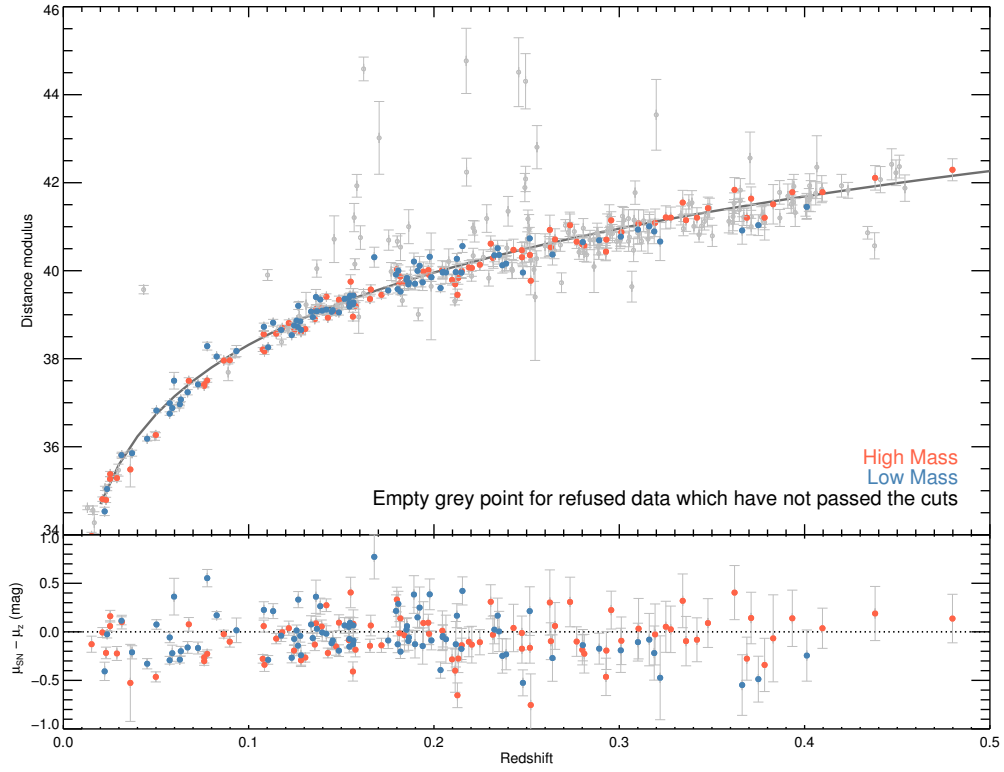


Figura 7.13 Panel superior: Diagrama de Hubble para las SNe Ia de SDSS y Union2.1. Los puntos rojos corresponden a galaxias con masas $>10^{10} M_{\odot}$, mientras que los azules tienen masas $<10^{10} M_{\odot}$. Los puntos grises son aquellas SNe Ia que no han pasado los cortes de calidad de las secciones previas. La línea continua corresponde a la cosmología adoptada de Betoule et al. (2014). Panel inferior: residuos de Hubble.

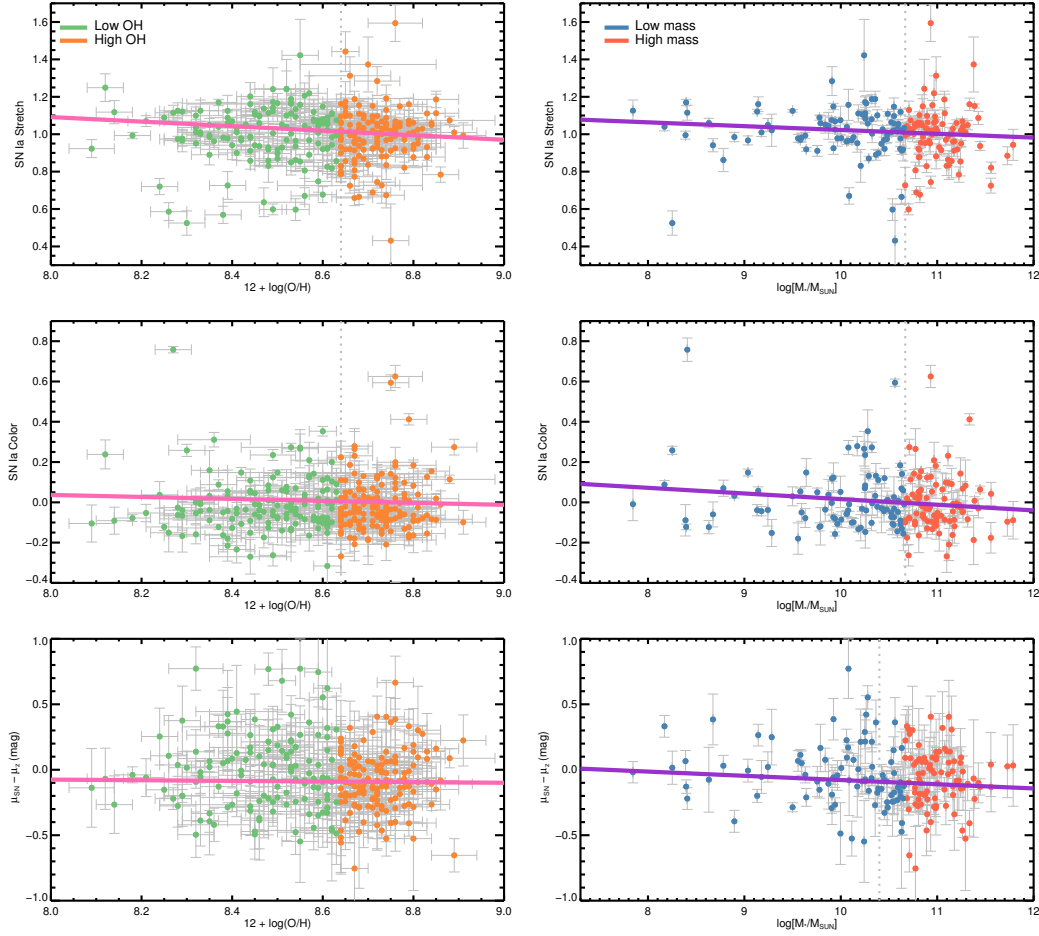


Figura 7.14 Correlaciones entre propiedades de las SNe Ia con la metalicidad y la masa de las galaxias anfitrionas, en los paneles de la izquierda y derecha, respectivamente.

La pendiente de esta correlación es -0.024 ± 0.041 mag/dex. La dirección de esta tendencia indica que las galaxias ricas en metales albergan SNe Ia ligeramente más brillantes tras la estandarización por s y C (es decir, tienen HR negativos). Esta tendencia está de acuerdo en general con la encontrada por estudios previos (Johansson et al., 2013; Childress et al., 2013; Pan et al., 2014; Campbell et al., 2016). La Figura 7.15 compara las pendientes obtenidas por estos trabajos previos con los encontrados aquí.

No encontramos una evidencia fuerte de que la metalicidad correlacione con la anchura o el color de las SNe Ia, aunque Childress et al. (2013) y Pan et al. (2014) sí encontraron correlación consistente entre estos parámetros. Encontraron que las galaxias pobres en metales albergan preferentemente SNe Ia anchas (mayor s) y rojas (mayor C) (antes de la corrección de la curva de luz). Parece que la discrepancia con estos trabajos resulta de la me-

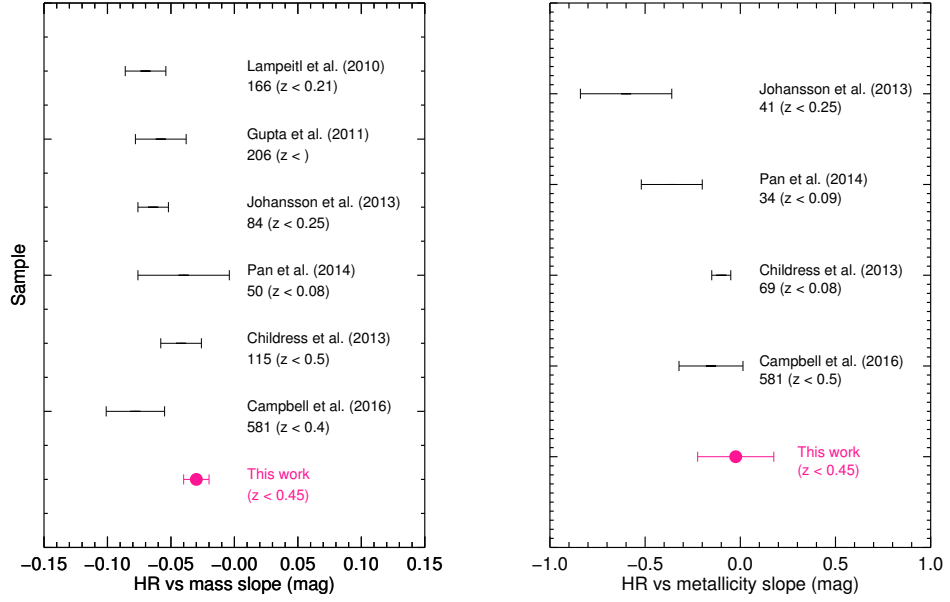


Figura 7.15 Pendientes de la correlación entre HR y masa (izquierda) y metalicidad (derecha) de diferentes autores. Las barras de error corresponden a las incertidumbres en las pendientes. El número indicado en cada caso es el número de SNe Ia utilizadas en cada trabajo, donde se indica el rango de *redshift* con que se estudió.

talicidad integrada de toda la galaxia, que no es representativa del ambiente local de los progenitores, que podría correlacionar mejor con HR (Rigault et al., 2015).

7.7.2. Masa

Los paneles de la derecha de la Figura 7.14 muestran las relaciones potenciales entre los parámetros de la SN Ia y la masa de la galaxia anfitriona. La correlación de la masa con los HR, al igual que con la metalicidad, no tiene una significancia alta (1.3σ). La pendiente de esta correlación es -0.03 ± 0.01 mag/ $\log M_*$, que es consistente con trabajos anteriores, como puede verse en la Figura 7.15. La Tabla 7.1 resume las correlaciones encontradas para los parámetros de la SNe Ia con la masa y la metalicidad.

Tabla 7.1 Resumen de los ajustes de las correlaciones entre las propiedades de las SNe Ia y las características de las galaxias anfitrionas.

x	y	Pendiente	Ordenada
Metalicidad	HR	-0.024 ± 0.041	0.117 ± 0.353
-	s	-0.121 ± 0.011	2.064 ± 0.091
-	C	-0.049 ± 0.011	0.429 ± 0.093
Masa	HR	-0.032 ± 0.0086	0.243 ± 0.090
-	s	-0.0204 ± 0.0023	1.227 ± 0.024
-	C	-0.0280 ± 0.0022	0.296 ± 0.023

Capítulo 8

Espectroscopía en GTC

Se abordarán ahora las observaciones realizadas en el telescopio 10.4m-Gran Telescopio de Canarias (GTC), situado en el Observatorio de El Roque de los Muchachos, La Palma.

8.1. Espectroscopía en el Gran Telescopio Canarias

El Gran Telescopio Canarias (GTC) es el telescopio óptico-infrarrojo más grande en la actualidad, y uno de los que poseen la tecnología más avanzada. Consta de un espejo primario compuesto por 36 espejos hexagonales que actúan como si de uno solo se tratase. La luz que recibe la superficie del espejo es equivalente a la que recibiría un telescopio de 10.4m de diámetro. GTC posee también un espejo secundario y otro terciario, que dirigen la luz a la estación focal en la que esté acoplado el instrumento. El telescopio se sujeta mediante una montura altacimutal. El GTC vio su primera luz el 14 de abril de 2007, aunque no se comenzaron operaciones científicas con él hasta marzo de 2009. El GTC está ubicado en la isla de La Palma, en el Observatorio del Roque de los Muchachos a una altitud de unos 2300 metros sobre el nivel de mar. En GTC se dispone (o dispondrá) de diversos instrumentos científicos:

- OSIRIS, situado en el foco Nasmyth-B, cubre un rango espectral de $0.36 - 1.00 \mu\text{m}$, se puede hacer fotometría con filtros anchos y estrechos, espectroscopía de rendija larga, multi objeto, filtro de imagen sintonizable. Sus resoluciones espectrales van de 300 hasta 2500, y tiene un campo de visión de 7.8×7.8 minutos de arco. Operativo desde 2009, es el instrumento utilizado en este trabajo.
- CanaryCam, pendiente de ser situado en el foco Nasmyth-A, se trata de un instrumento preparado para fotometría y espectroscopía de rendija larga y polarimetría espectral. Su campo de visión es de 26×19 segundos de arco, y posee una resolución espectral que va desde 175 hasta

1500. Lleva en funcionamiento desde 2012, aunque desde la instalación de EMIR se ha retirado.

- EMIR, situado actualmente en el foco Nasmyth-A, amplía el campo de visión que tenía CanariCam, siendo éste nuevo de 6×6 minutos de arco. Fotometría con filtros anchos y estrechos, y espectroscopia de rendija larga y multi objeto. La resolución aumenta hasta 3500–4000. Observará en el infrarrojo, en el rango entre 1.00 y $2.5\ \mu\text{m}$.
- MEGARA, que se instalará a finales de 2016, y comenzará a funcionar a mediados de 2017. Se trata de un espectrógrafo multifibras ($0.4\text{--}1\ \mu\text{m}$), con la posibilidad de utilizar hasta 100 fibras de manera simultánea. Tiene un campo de visión de 3.5×3.5 minutos de arco en modo MOS, y de 14×12 segundos de arco en modo IFU. Su resolución espectral va desde 6000 hasta 20000.
- FRIDA, que no se instalará hasta bien entrado el 2018. Fotometría y espectroscopía de campo integral ($1\text{--}2.5\ \mu\text{m}$), que ofrecerá una resolución espectral de 1500 hasta 30000. Su campo de visión varía de 20×20 o 40×40 segundos de arco para fotometría hasta 2.6×2.4 segundos de arco.
- MIRADAS, espectrógrafo multi-objeto con posibilidad de apuntar hasta 20 objetos simultáneamente, con una resolución espectral de 20000. Apto para hacer polarimetría, cubre el mismo rango que EMIR y FRIDA ($1\text{--}2.5\ \mu\text{m}$), y no estará disponible hasta finales de 2019.

8.1.1. Optical System for Imaging and low-Intermediate Resolution Integrated Spectroscopy (OSIRIS)

Se trata de un instrumento capaz de llevar a cabo observaciones fotométricas y espectroscópicas en el rango óptico. Está instalado de manera permanente en el foco Nasmyth-B del GTC. El rango espectral de OSIRIS va desde 0.365 hasta $1.05\ \mu\text{m}$ con un FoV de 7.8×8.5 minutos de arco (7.8×7.8 minutos de arco libres de viñeteo), y de 7.5×6.0 minutos de arco, para imagen directa y para espectroscopía multi objeto, respectivamente.

Con OSIRIS se puede utilizar rendija, con un tamaño de $7.4'$ en la dirección espacial, y con diferentes opciones para fijar la anchura de la misma: $0.4''$, $0.6''$, $0.8''$, $1.0''$, $1.2''$, $1.5''$, $1.8''$, $2.5''$, $3.0''$, $5.0''$ y $10''$. OSIRIS consta de dos cámaras CCD (denominadas CCD1 y CCD 2). La dirección espectral de OSIRIS coincide con la dirección vertical en el detector, por lo que los espectros de OSIRIS no se ven afectados por el hueco entre las dos CCDs. OSIRIS posee una gran variedad de grismas que cubren resoluciones desde bajas ($R=300$) hasta intermedias ($R=2500$). En concreto, en las observaciones realizadas para esta tesis, se hizo uso del grisma R1000R, cuyas

Tabla 8.1 Instrumentación utilizada para la observación de las galaxias con el GTC.

Grisma	λ_c [Å]	Rango λ [Å]	Dispersión [Å/ mm]	Resolución [Å/ pix]	Eficiencia Pico
R1000R	7430	5100 – 10000	2.62	1122	65 %

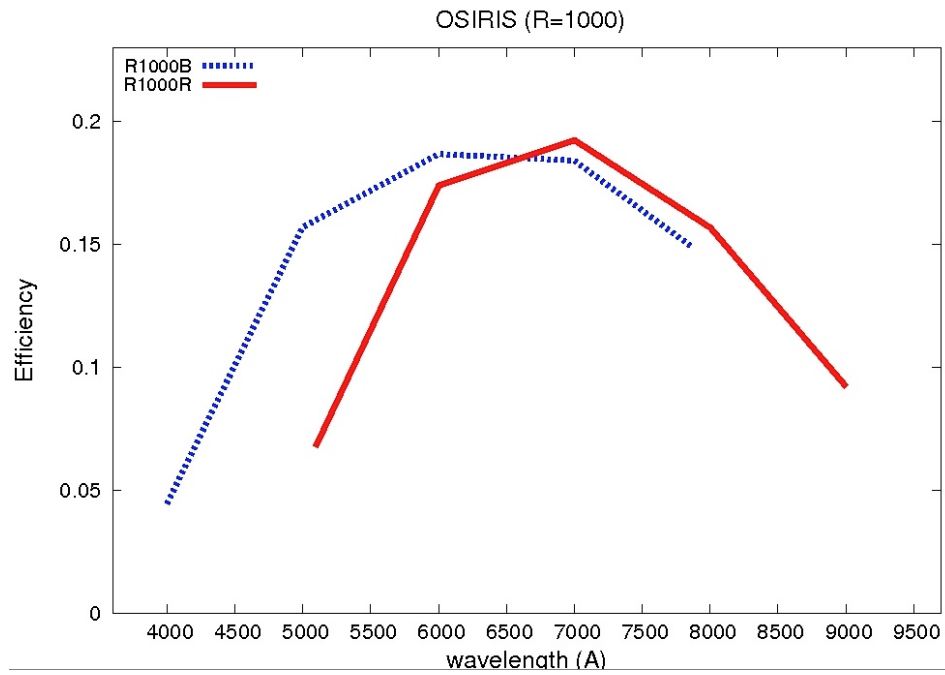


Figura 8.1 Curvas de eficiencia de los grismas R1000B (azul discontinuo) y R1000R (rojo continuo). Éste último fue el utilizado para la realización de las observaciones de la muestra de galaxias con GTC.

características se resumen en la Tabla 8.1. La Figura 8.1 muestra la curva de eficiencia de la red de dispersión utilizada en las observaciones (R1000R).

8.2. Observaciones en el GTC

Para los datos de galaxias a medio-alto redshift, se hizo uso del GTC, y los datos fueron tomados por el equipo de soporte del telescopio. Fueron concedidas un total de 22 horas de observación, aunque finalmente se efectuaron únicamente 12.81 horas.

8.3. Definición de la muestra

Las galaxias han sido seleccionadas de la muestra de Union2.1 (Suzuki et al., 2012), que proporciona una lista de 580 SNe Ia. De esta lista se ha elegido una muestra de 38 galaxias anfitrionas en el rango de *redshift* $z \sim 0.45 - 0.5$. Ninguna de estas galaxias disponía de una estimación útil de sus abundancias de oxígeno debido a la falta de espectros de buena calidad. Se seleccionaron 16 galaxias para la propuesta, pero el tiempo concedido finalmente no fue suficiente para observarlas todas. La Tabla 8.2 resume los objetos observados, ordenados cronológicamente por el descubrimiento de las SNe Ia. Las observaciones se realizaron por el personal del telescopio GTC, y los datos fueron enviados telemáticamente para su posterior procesamiento. Para que esta tarea sea posible y funcional, se elaboraron una serie de ‘observing blocks’ en los que se detallaba la información necesaria para observar con éxito cada uno de los objetos de la muestra.

En la Figura 8.2 se muestra un ‘finding chart’ enviado al equipo de astrónomos del GTC, que puede compararse con la imagen de NGC 3370, galaxia de la muestra observada en el WHT en diciembre de 2011 (Figura 4.6).

Al ser objetos distantes, su identificación no es tan sencilla como en el caso de la muestra de galaxias locales del WHT, en el que se pueden distinguir a simple vista regiones de formación estelar dentro de galaxias que ocupan varios minutos de arco. En este caso son objetos pequeños, débiles y difusos, en los que se hace más que necesario el uso de los ya mencionados ‘finding charts’ para su localización. Centrar la rendija en el objeto correcto es esencial para el correcto aprovechamiento del tiempo de observación del GTC.

8.3.1. Configuración instrumental

Las observaciones se realizaron con el instrumento OSIRIS con un binao de 2×2 y el grisma R1000R, que ofrece una dispersión de $2.62 \text{ \AA pix}^{-1}$ y una resolución 1122 a 7510 \AA , para cubrir el rango espectral 5100 - 10000 \AA , permitiendo la observación desde $[\text{O II}] \lambda\lambda 3726, 29$ hasta $[\text{N II}] \lambda 6583$ en el rango de redshifts de la muestra de galaxias. Se ha fijado la anchura de la rendija en $0.8''$. Debido al pequeño tamaño de las galaxias (unos pocos segundos de arco), la rendija se centró en la CCD2 de OSIRIS, que tiene un tamaño de 2048×4096 píxeles, con una resolución espacial de $0.127''$ ($0.2''$ utilizando el binao de 2×2). Esto proporciona un campo de visión de 4.2 minutos de arco. Los tiempos de observación están resumidos en la Tabla 8.2.

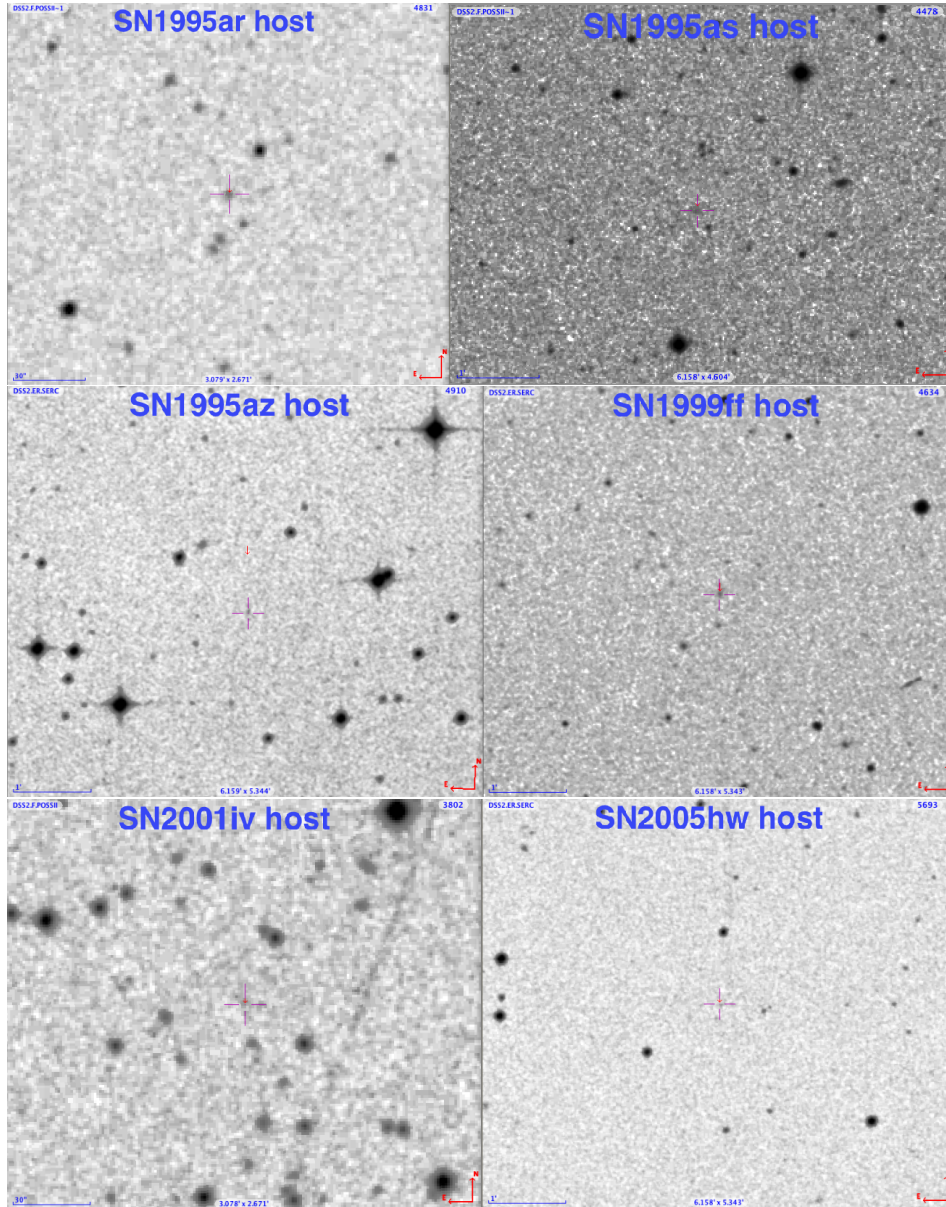


Figura 8.2 Imágenes de las galaxias anfitrionas de la muestra de SNe Ia observadas con GTC.

Tabla 8.2 SNe Ia ubicadas en las galaxias anfitrionas objeto de las observaciones. Las columnas 2 y 3 muestran la ascensión recta y la declinación de cada una de las galaxias, respectivamente. La columna 4 muestra la fecha en que los objetos fueron observados, mientras que la 5 indica los tiempo de integración. La columna 6 da el *redshift* de cada galaxia

SN Ia	RA	DEC	Fecha	Tiempo exp. [s]	<i>redshift</i>
sn1995as	01 ^h 01'35"	04°26'14'	13-NOV-2014	4x1800	0.498
sn1995ar	01 ^h 01'21"	04°18'34'	14-NOV-2014	4x900	0.465
sn1995az	04 ^h 40'33"	−05°30'04"	12-ENE-2015	4x1800	0.450
sn1996cg	08 ^h 24'13"	03°24'58'	28-DEC-2014	2x1800	0.490
sn1999ff	02 ^h 33'54"	00°32'56'	15-NOV-2014	2x1800	0.455
sn2001iv	07 ^h 50'13"	10°17'19'	21-ENE-2015	4x1800	0.397
sn2005hw	03 ^h 01'08"	00°21'21'	13-NOV-2014	2x1800	0.408

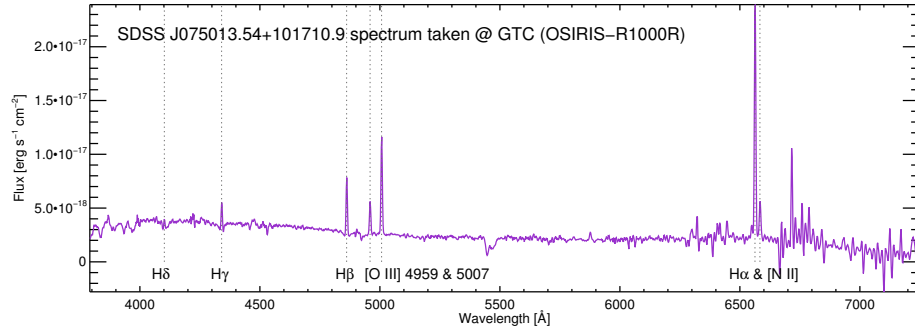


Figura 8.3 Espectro obtenido con GTC de la galaxia anfitriona de la SN2001iv. En este caso, el espectro se corresponde con la galaxia en su totalidad, la señal a ruido es menor que en la Figura 4.7, al tratarse de un objeto débil.

Tabla 8.3 Edades y metalicidades estelares de las galaxias observadas con GTC.

SN Ia	Base	A_V [mag]	t_M [Gyr]	t_L [Gyr]	Z_M	Z_L
sn1995ar	CB07	0.85	9.94	8.92	0.048	0.029
	IAA2012	0.88	9.70	8.93	0.030	0.025
sn1995as	CB07	1.62	10.04	8.62	0.022	0.016
	IAA2012	1.68	10.11	8.06	0.031	0.018
sn1995az	CB07	0.95	9.97	8.49	0.050	0.041
	IAA2012	1.08	9.38	8.47	0.031	0.024
sn1999ff	CB07	1.39	9.84	8.05	0.034	0.022
	IAA2012	1.45	9.84	8.10	0.030	0.025
sn2001iv	CB07	0.00	8.40	7.86	0.047	0.049
	IAA2012	0.00	9.05	8.17	0.022	0.009
sn2005hw	CB07	0.58	10.04	9.50	0.011	0.011
	IAA	0.61	9.90	9.58	0.018	0.013

8.4. Propiedades de las galaxias anfitrionas

8.4.1. Descripción de STARLIGHT

El código STARLIGHT (Cid Fernandes et al., 2009; Asari et al., 2007; Mateus et al., 2006) es un código que ajusta un espectro observado O_λ con un modelo M_λ compuesto por N_* componentes espectrales de un conjunto predefinido de espectros base. Para que STARLIGHT funcione adecuadamente, los espectros han de estar calibrados en flujo. Es esencial que los espectros estén corregidos de extinción Galáctica. Para ello se utilizan los mapas de extinción de la Vía Láctea de Schlegel et al. (1998). Debe estar asimismo en longitud de onda en reposo, y sampleado uniformemente: cubrir en longitud de onda con pasos de $\Delta\lambda = 1 \text{ \AA}$. Sólo uno de los espectros tiene líneas de emisión (galaxia anfitriona de la sn2001iv). Se han obtenido con STARLIGHT dos parámetros relativos a las galaxias: su edad y metalicidad. La Tabla 8.3 compila estos valores. Las librerías utilizadas han sido dos: CB07 es una base de datos que cuenta con 66 modelos espectrales (4 metalicidades distintas para 17 edades diferentes); IAA2012, que alberga 248 modelos que explican 7 metalicidades diferentes para 50 edades distintas.

8.4.2. Abundancia de oxígeno

Sólo una galaxia, la anfitriona de la SN2001iv, muestra líneas de emisión en su espectro (Figura 8.3), por lo que es la única a la que se ha podido calcular la abundancia de oxígeno. Se han utilizado las calibraciones de M13

Tabla 8.4 Metalicidades estelares y abundancias de oxígeno para las galaxias de GTC

SN Ia	Z_L	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$
sn1995ar	0.025	8.88
sn1995as	0.018	8.74
sn1995az	0.024	8.87
sn1999ff	0.025	8.88
sn2001iv	0.009	8.44
sn2005hw	0.013	8.59

para la obtención de esta abundancia. En concreto, la basada en el parámetro $O3N2$ nos da una abundancia de $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8.45 \pm 0.08$ dex. Se trata de una galaxia SF, en relación a los parámetros que definen su naturaleza en el diagrama de diagnóstico.

8.4.2.1. Metalicidad estelar vs. abundancia de oxígeno

La metalicidad de la galaxia se puede asociar a la abundancia de oxígeno, ambos referidos a valores solares, de la siguiente forma:

$$\frac{Z}{Z_{\odot}} = 10^{12 + \log(\text{O}/\text{H}) - 12 + \log(\text{O}/\text{H})_{\odot}} \quad (8.1)$$

Los valores solares son $Z_{\odot} = 0.016$ y $12 + \log(\text{O}/\text{H})_{\odot} = 8.69$. La Tabla 8.3 proporciona los valores de metalicidad obtenidos para las 6 galaxias según dos estimadores: la masa y la luminosidad de la galaxia. Para el caso que nos ocupa, es más conveniente fiarse del valor dado por la luminosidad, ya que ésta proviene principalmente por estrellas jóvenes, que son las que precisamente las que ionizan el gas en las regiones H II. Como tenemos un valor de referencia para la abundancia de oxígeno (anfitriona de la SN2001iv), podemos elegir entre las dos librerías la que más se acerca al valor de OH obtenido directamente de las líneas de emisión. Basado en la librería IAA2012, STARDLIGHT da a la anfitriona de la SN2001iv una metalicidad $Z_L = 0.009$, que trasformada a abundancia de oxígeno da $12 + \log(\text{O}/\text{H}) = 8.44$. Es un valor razonable, comparada con la abundancia de oxígeno estimada de las líneas de emisión, por lo que para el resto de galaxias, se va considerar la metalicidad obtenida de la luminosidad utilizando la librería IAA2012. Así, si consideramos esta metalicidad, podemos establecer la abundancia de oxígeno de la galaxia mediante la Ecuación 8.1. la Tabla 8.4 recoge estas abundancias.

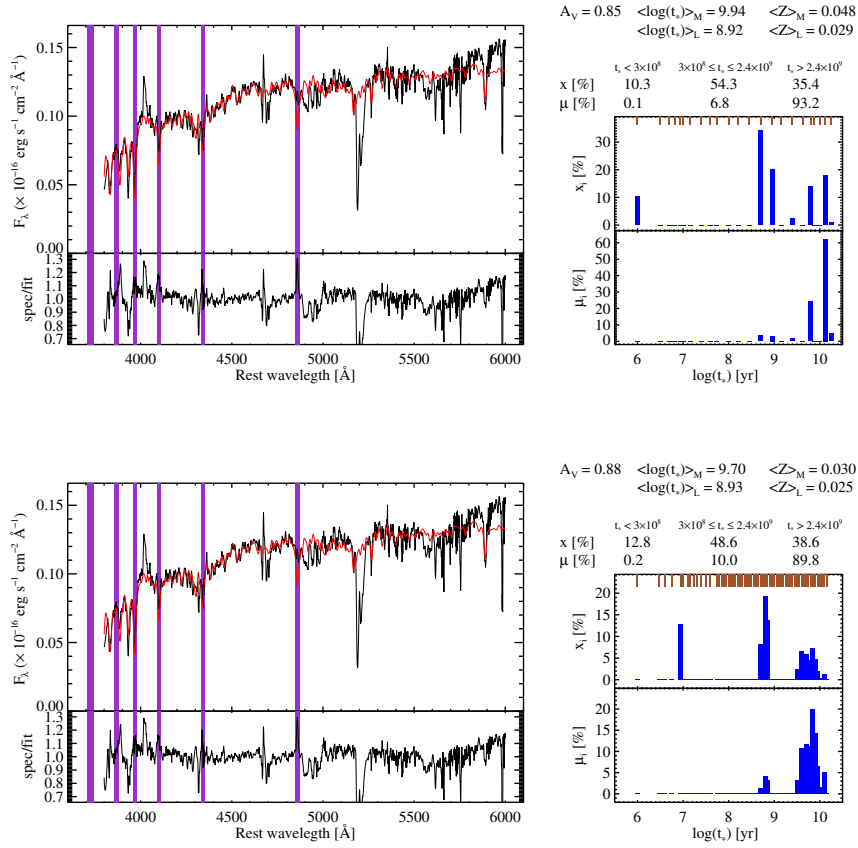


Figura 8.4 Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1995ar.

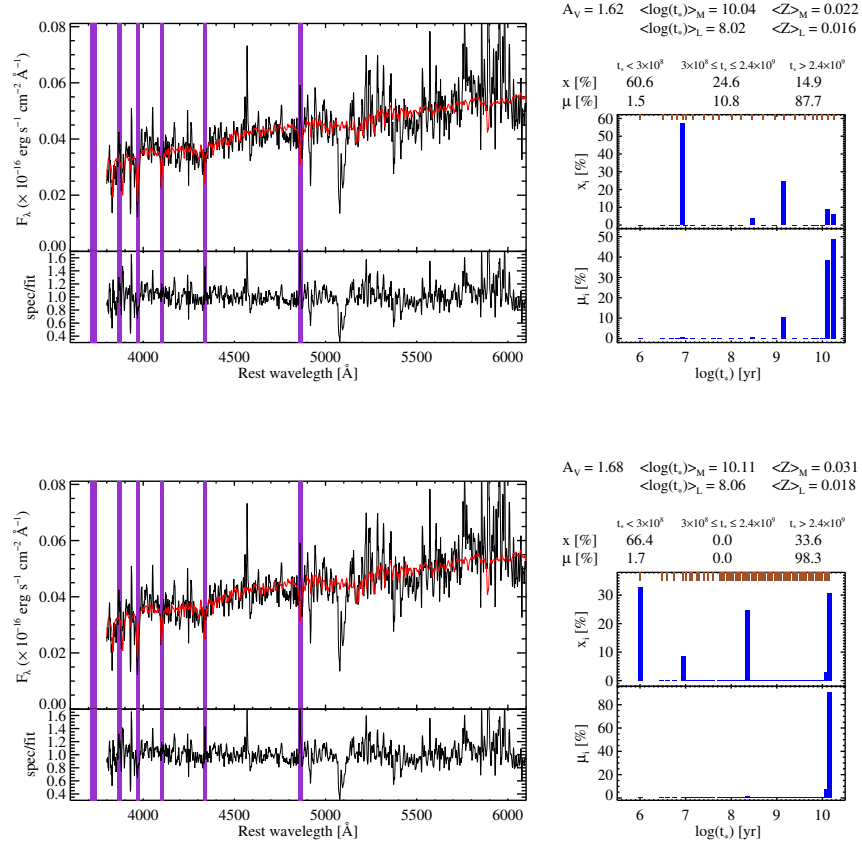


Figura 8.5 Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1995as.

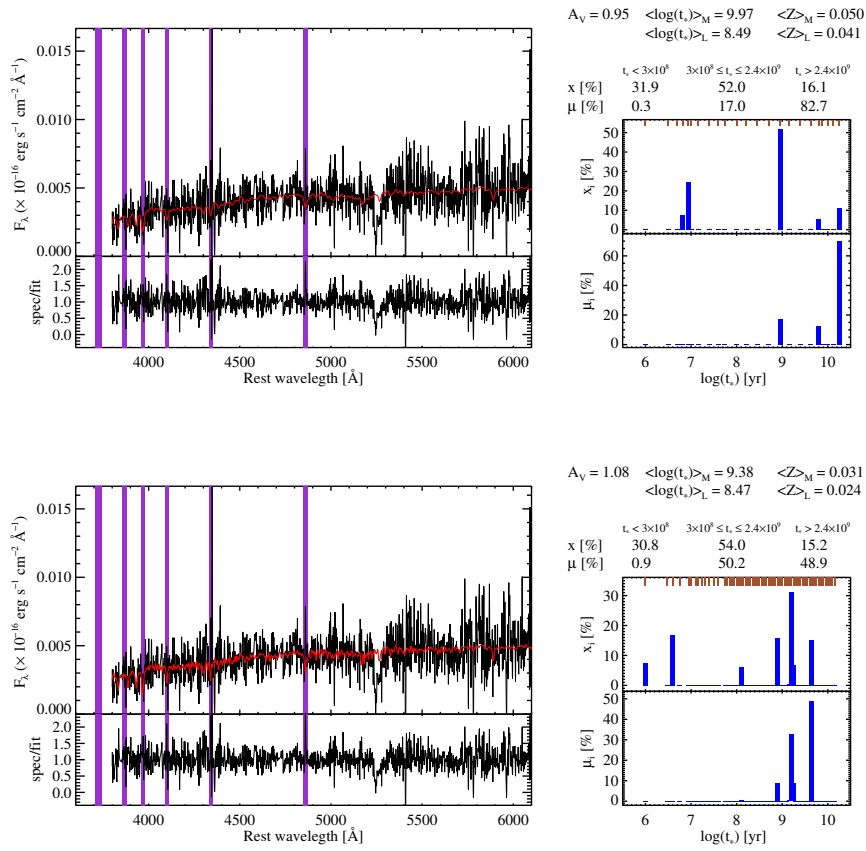


Figura 8.6 Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1995az.

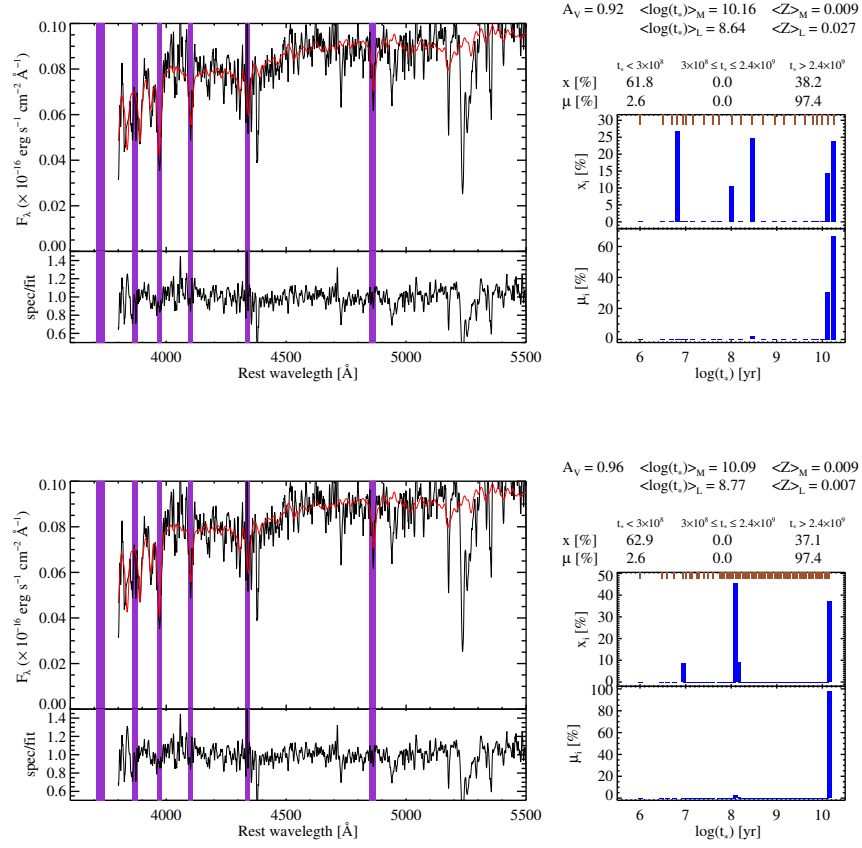


Figura 8.7 Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn1999ff.

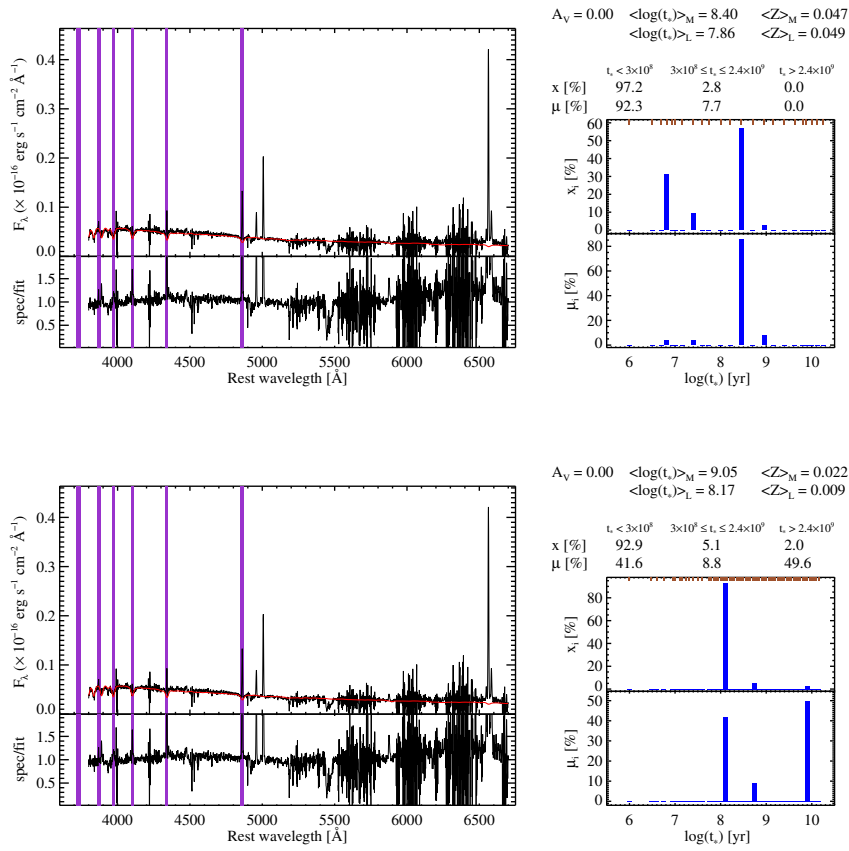


Figura 8.8 Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn2001iv.

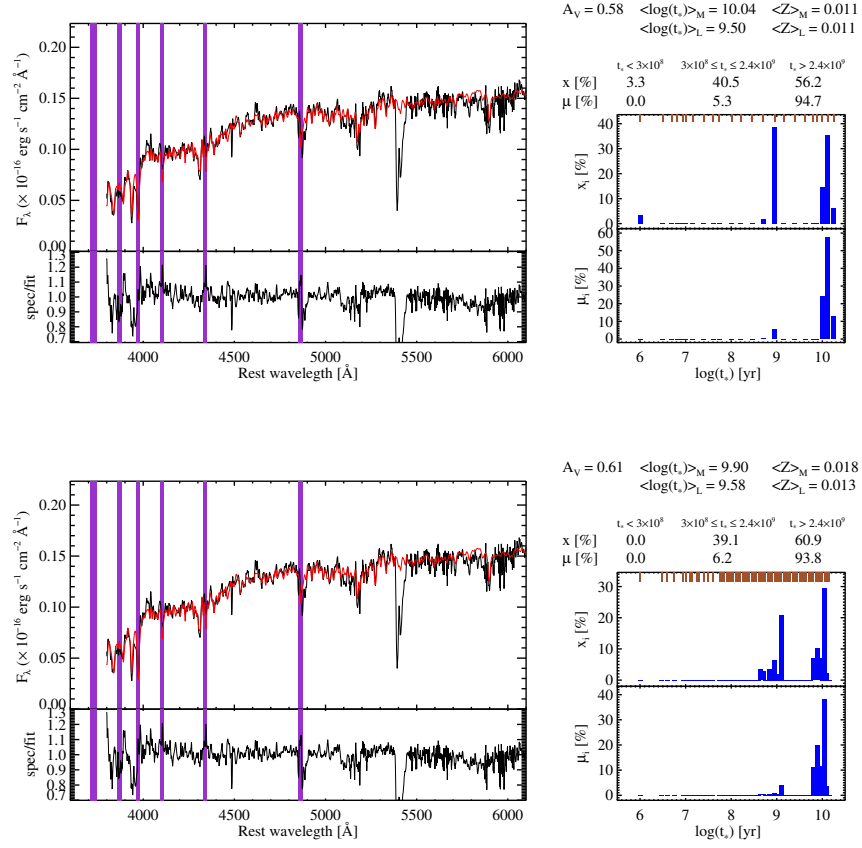


Figura 8.9 Ajuste con STARLIGHT de la galaxia anfitriona de sn2005hw.

Capítulo 9

Análisis Cosmológico

El paradigma aceptado en la actualidad es el modelo Λ *Cold Dark Matter* (Λ CDM). Este modelo utiliza una constante, Λ , para parametrizar la expansión acelerada del Universo causada por la energía oscura, y es el modelo más simple que tenemos que explica las observaciones actuales.

9.1. Residuos en el diagrama de Hubble

Como se ha explicado, la cosmología de SNe Ia se basa en el diagrama de Hubble elaborado para dichas SNe Ia. Para ello se usa el *redshift* del objeto en el eje de abscisas y el módulo de distancia $\mu = m - M$ de cada una de ellas, en el eje de ordenadas. Para calcular este módulo de distancia se usan técnicas de estandarización que de algún modo implican una calibración $M_B = M_0 - \alpha \times (s - 1) + \beta C$ siendo C el color de cada SN, y s (o $X1$) un parámetro que mide la forma de la LC y M_0 un valor constante para todas ellas. Por ello se estudian en multitud de trabajos las posibles correlaciones de lo que se llaman residuos de este diagrama $HR = \mu_{SN} - \mu_{cosmo}$ con los parámetros de las galaxias, o de las regiones donde las SNe Ia explotan, para analizar si alguno de estos parámetros se ha *perdido* de algún modo en la citada calibración, pues ello provocaría efectos no tenidos en cuenta en los parámetros cosmológicos determinados con tal HD.

Kelly et al. (2010); Sullivan et al. (2010); Lampeitl et al. (2010); D'Andrea et al. (2011); Li et al. (2011); Gupta et al. (2011); Johansson et al. (2013); Childress et al. (2013); Pan et al. (2014); Campbell et al. (2016); Wolf et al. (2016) han mostrado que existen estas correlaciones entre el brillo máximo estimado para estas SNe Ia y algunas propiedades de sus galaxias anfitrionas, como Masa estelar, SFR, sSFR, metalicidad (estelar o nebular). Una de las tendencias mas claras es que las galaxias masivas tienden a tener SNe Ia más brillantes después de la corrección con la LC. Esto ya lo demostraron Kelly et al. (2010) y más tarde Sullivan et al. (2010), que incluso dividieron las galaxias en dos promedios de masa estelar para hacer ese ajuste de HR

con M_* encontrando que la precisión de los ajustes mejoraba enormemente. Hay argumentos que relacionan esta masa estelar con las diferentes edades que podrían tener las correspondientes SNe Ia, y por ello, esta correlación podría dar información sobre los progenitores. Por ejemplo, se sugiere que hay dos tipos de SNe Ia y que ocurren en diferentes tipos de galaxias, pasivas (elípticas, tipos tempranos, más viejas y con poca SFR) y con formación estelar (poblaciones más jóvenes, tipos tardías y SFR alta) que en último extremo se refieren a diferentes masas.

Sin embargo, es poco probable que una característica global como la masa estelar total esté afectando a la luminosidad de una SN Ia. Es por ello que se estudian los HR en función de la metalicidad de dicha galaxia, considerada como un trazador de la del sistema binario progenitor de la explosión. Algunos de estos trabajos como D'Andrea et al. (2011); Johansson et al. (2013); Childress et al. (2013); Pan et al. (2014), y más recientemente Wolf et al. (2016); Campbell et al. (2016) han encontrado que las SNe Ia más brillantes (después de corregir con las LCs) se encuentran en galaxias más metálicas (Aunque Kim et al., 2014, usando otra técnica para ajustar las LCs encuentra que no hay ninguna correlación entre HR y OH). Naturalmente, los diferentes trabajos utilizan técnicas distintas, una variedad de métodos de estimación de abundancias, y, sobre todo, diferentes tamaños de muestras que han ido incrementándose con el tiempo. En general, la estimación de la metalicidad es una ardua tarea que implica el análisis de datos espectrométricos (que necesitan mucho más tiempo de observación que los fotométricos), por lo que analizar la dependencia con la metalicidad no es algo sencillo. Por ejemplo, Campbell et al. (2016) estiman la abundancia de oxígeno usando las tablas de medidas de líneas de emisión ya publicadas en SDSS. Éstas han sido medidas con métodos automáticos que proporcionan intensidades erróneas en al menos un 20-30 % de casos. Wolf et al. (2016) estiman las metalicidades de una manera mucho más cuidadosa, de manera similar a lo que hacemos nosotros.

En el capítulo previo hemos analizado los HR con nuestros datos de SDSS/SLOAN de una manera similar a la realizada en los trabajos que acabamos de citar. Nuestro trabajo es muy parecido a los dos últimos (Wolf et al., 2016; Campbell et al., 2016), con la ventaja de realizar estimaciones de abundancia de una manera cuidadosa y *artesanal*. Sin embargo, queremos aprovechar también la ventaja de tener datos de galaxias locales, lo que nos permite añadir puntos a bajo *redshift* en un diagrama de Hubble (y así fijar H_0) a la hora de hacer un análisis de dicho diagrama de manera similar a la de Campbell et al..

Por otra parte, antes de entrar en ese punto queremos aprovechar que hemos obtenido en el Capítulo 5, con dichas galaxias locales, una calibración que nos da la magnitud M_B a partir del color C , el *stretch* s y la abundancia de oxígeno OH asignadas a cada SN Ia. Para ello, en este apartado vamos

a analizar los HR pero realizando el calculo de μ de manera diferente al que hemos usado en el Capítulo 7. Utilizando la calibración obtenida con las galaxias locales tenemos que $M_B = 18.96 - 0.124(s - 1) + 2.38C + 0.95(OH - 8.4)$. De manera que $\mu_{SN} = m_B - M_B$. Los residuos se calculan como es usual como $HR = \mu_{SN} - \mu_{cosmo}$, donde μ_{cosmo} se calcula con el modelo cosmológico aceptado con los parámetros obtenidos en Betoule et al. (2014): $\Omega_M = 0.295$, universo plano $\Omega_{tot} = 1$, y $H_0 = 70$.

Los resultados se muestran en la Figura 9.1, donde se ve que la desviación estándar es 0.437.

En los métodos estándar no se tiene en cuenta el parámetro de la metalicidad sino que $M_B = 18.96 - 1.22(s - 1) + 2.38C$. Calculando ahora μ_{SN} con esta segunda expresión y luego el HR , vemos que tenemos una dispersión de 0.439 y que, representados frente a OH (panel central de la figura) sale una correlación con una pendiente de -0.344 ± 0.129 ($\sim 2.5\sigma$).

Con esta figura se demuestra que el HR sale más plano y con menos dispersión cuando incluimos la abundancia de oxígeno como un parámetro más.

9.2. Parámetros cosmológicos

Estudios anteriores, como Lampeitl et al. (2010), han demostrado que incluir una corrección basada en la masa de la galaxia anfitriona al hacer análisis cosmológicos mejora la calidad del ajuste de los datos de SNe Ia. Nosotros en esta subsección intentamos realizar el mismo tipo de ajuste pero cambiando la masa estelar de la galaxia anfitriona por el valor de la metalicidad en la región de la SN Ia.

Para el análisis cosmológico, utilizamos el código SALT2, asumiendo Λ CDM. Es decir, que el módulo de distancia teórico $\mu_{cosmo} = 5 \log d_L - 5$, se calculará a partir de la distancia de luminosidad:

$$d_L = (1 + z) \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{1}{E(z')} dz' \quad (9.1)$$

siendo $c = 299792.458 \text{ km s}^{-1}$ la velocidad de la luz en el vacío, $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, la constante de Hubble en el tiempo presente, y la función $E(z)$:

$$E(z) = \sqrt{\Omega_M(1 + z)^3 + \Omega_\Lambda(1 + z)^2 + \Omega_R} \quad (9.2)$$

siendo $\Omega_R = 0$, $\Omega_M = 0.295$ (Betoule et al., 2014), y $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_M$, en un modelo plano.

Por otra parte, hay que calcular el modulo de distancia para toda la muestra de SNe Ia, que incluye las SNe Ia locales (Capítulo 5), las de SDSS (Capítulo 7) y las de GTC (Capítulo 8). En total, 373 SNe Ia tras la aplicación de los criterios de calidad explicados en la Sección 7.6. Los parámetros

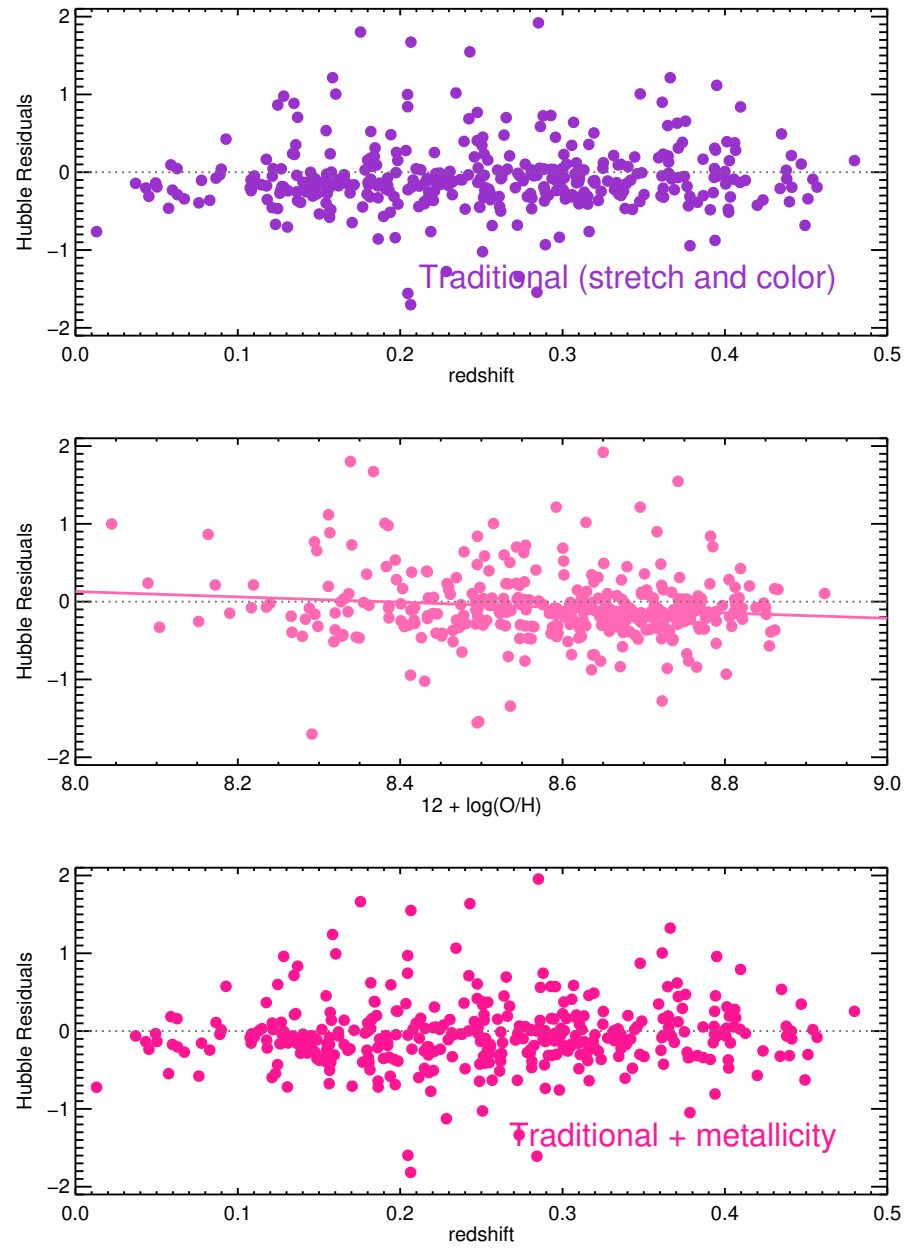


Figura 9.1 Panel de arriba: HR para el método tradicional. Panel central: HR tradicionales en función de la metalicidad, se aprecia que hay una pendiente. Panel inferior: HR incluyendo la metalicidad, al existir la dependencia mostrada en el panel central.

Tabla 9.1 Parámetros cosmológicos derivados del análisis de las SNe Ia

	Ω_M	α	β	γ	M_B	χ^2	RMS
Tradicional	0.37 ± 0.07	0.65 ± 0.09	3.12 ± 0.09	...	-19.09 ± 0.02	311.9	0.212 ± 0.008
Con OH	0.38 ± 0.08	0.65 ± 0.09	3.12 ± 0.09	0.012 ± 0.079	-18.99 ± 0.69	311.1	0.213 ± 0.009

cosmológicos se eligen de manera que los residuos $\mu_{SN} - \mu_{cosmo}$ sean mínimos.

Con estas 373 SNe Ia se han realizado dos configuraciones distintas. La primera es la que sigue el convenio aceptado en la actualidad, que incluye únicamente los parámetros s y C a la hora de realizar el ajuste, siguiendo la Ecuación 9.3. Los parámetros α , β y M_B de la ecuación del módulo de distancia varían libremente.

La segunda configuración incluye como parámetro añadido la abundancia de oxígeno asociada a cada SN Ia. En este caso, el ajuste seguiría la forma:

$$\mu = m - M + \alpha(s - 1) - \beta C - \gamma(\text{OH} - 8.69) \quad (9.3)$$

El término 8.69 hace referencia a la metalicidad solar, de manera que no existe efecto de corrección cuando la abundancia de oxígeno toma este valor.

La Tabla 9.1 resume los resultados obtenidos mediante sendos ajustes.

Ambos ajustes son buenos (tienen un buen χ^2 y RMS). A este nivel de resolución, incluir o no incluir metalicidad no parece tener un efecto significativo en los parámetros cosmológicos. Quizá con más medidas, y errores más bajos, se podría establecer una mejora del ajuste. Por otra parte, Campbell en un estudio similar han sido capaces de encontrar un *shift* hacia valores más negativos en el parámetro w , por lo que pensamos que hace falta más trabajo en este área. Cabe decir que son necesarios datos a más alto *redshift* ($z > 0.5$) para obtener un modelo cosmológico consistente, y eso no será posible hasta que se obtengan datos de metalicidad para SNe Ia utilizando técnicas de observación infrarrojas.

9.2.1. El paso siguiente

Hay que especificar que nuestra muestra de galaxias ha sido seleccionada en su mayor parte de manera que sus espectros presenten líneas de emisión. Esto hace que no tengamos en general galaxias pasivas, excepto en la pequeña muestra de galaxias observadas con GTC. Este hecho puede disminuir la posible pendiente observada en los *HR*, tanto cuando se compara con las masas estelares (puesto que también nos faltarán las galaxias más masivas), como con las abundancias o metalicidades de las SNe Ia. De hecho Wolf et al. (2016) distinguen entre una pendiente de $-0.579 \text{ mag dex}^{-1}$ obtenida con toda su muestra, y el valor mucho menor de $-0.277 \text{ mag dex}^{-1}$ obtenida para la muestra que tiene líneas de emisión y/o formación estelar presente.

Por otra parte, como se ha dicho, el modelo cosmológico necesita datos a *redshifts* más altos, pues a $z = 1 - 1.5$ cuando las variaciones entre modelos

empiezan a notarse. Para ello se necesita observar en el infrarrojo, por que hemos hecho sendas propuestas en los observatorios VLT y Magellan para la toma de espectros que nos permitan estimar las abundancias de al menos algunas galaxias anfitrionas de SNe Ia.

Con ello se pretende comprobar, con mas precisión, si efectivamente los parámetros cosmológicos se pueden estimar con mayor precisión al incluir la metalicidad de dichos objetos.

Capítulo 10

Conclusiones

En esta tesis se ha presentado un estudio sistemático de las abundancias de oxígeno en galaxias anfitrionas de SNe Ia a bajo e intermedio *redshift*, y se ha profundizado en el conocimiento que tenemos sobre los parámetros que afectan a la luminosidad de las SNe Ia.

Por una parte, se ha hecho uso de técnicas de espectroscopía de rendija larga a resolución intermedia en el 4.2m WHT para calcular abundancias locales precisas en los entornos de 28 galaxias con $z < 0.02$ en los que se detectaron explosiones de SNe Ia. Se han calculado las magnitudes absolutas de las SNe Ia con los parámetros dados por las técnicas modernas, como SALT2. Asimismo, se ha examinado la posible dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad. Para ello hemos aplicado las calibraciones empíricas más recientes en la literatura, basadas en los parámetros $N2$ y $O3N2$, y que son apropiadas para medir abundancias de oxígeno en regiones H II bien resueltas. Se han obtenido gradientes radiales de abundancia para obtener una abundancia de oxígeno local para cada SN Ia, mejorando los estudios anteriores, que asignaban una metalicidad global proveniente de un único espectro, o incluso peor, a través de la relación masa-metalicidad. Con este trabajo se consigue mejorar en ~ 0.2 dex la precisión de las abundancias de oxígeno determinadas en galaxias anfitrionas de SNe Ia. Para SNe Ia normales, se concluye con un 80% de probabilidad de que la relación no se deba a fluctuaciones aleatorias, que las galaxias más ricas en metales albergan SNe Ia más débiles. Esta tendencia observacional se encuentra en consonancia con modelos teóricos. La existencia de tal dependencia M_B -Z explica de manera natural los resultados observacionales en los que las SNe Ia más brillantes tras la corrección de las curvas de luz se encuentran en galaxias ricas en metales.

Considerando tanto SNe Ia como enrojecidas, se ha analizado el efecto del color en las M_B . Se ha demostrado que el hecho de que las galaxias más ricas en metales alberguen SNe Ia menos brillantes, y viceversa, es extensivo a SNe Ia enrojecidas. Hemos demostrado que el efecto de la metalicidad no

debe ser despreciado cuando se calcula la M_B (o el módulo de distancia) en técnicas de cosmología de supernovas, ya que la dependencia con la abundancia de oxígeno presenta un valor no nulo en la matriz de covarianza. Esta corrección aparece como un término de segundo orden tras la corrección del color debido a que, para nuestra muestra en particular, la dispersión del *stretch* de las SNe Ia es baja. La relación encontrada aquí para galaxias con formación estelar activa indica que la metalicidad del progenitor juega un papel importante en la luminosidad de la SN Ia, y en consecuencia, en las distancias estimadas.

Como caso particular a las observaciones en el WHT, se presenta además el análisis espectral de la SN2014J. Se la posiciona en varios diagramas de diagnóstico, que están basados en propiedades de los iones del Si II, y proporcionan información dinámica y química acerca de la supernova. La SN2014J está a caballo entre los grupos *Core-normal* y *Broad-line*, clasificación que se corresponde a una posición intermedia entre los gradientes de baja y alta velocidad.

Además, se ha realizado un estudio sistemático de la relación entre las propiedades de las SNe Ia y las características de sus galaxias anfitrionas a partir de una muestra de 455 SNe Ia extraídas del Sloan Digital Sky Survey II (SDSS-II) hasta $z < 0.45$. Se han obtenido las abundancias de oxígeno de las galaxias mediante el uso de calibradores empíricos y los parámetros de las SNe Ia mediante el ajuste de sus curvas de luz con SiFTO. También se ha hecho uso del código STARLIGHT para encontrar las metalicidades y las masas estelares medias de las galaxias anfitrionas. Encontramos una correlación de los residuos del Diagrama de Hubble de SN Ia con la abundancia en metales (y también con la masa estelar) de dichas galaxias anfitrionas con un valor similar al encontrado por otros autores. Estas tendencias pueden explicarse a partir de una sobre-estimación de la luminosidad de las SNe Ia localizadas en entornos ricos en metales cuando se usa el método estándar en cosmología, que tiene en cuenta el color y el *stretch* de las curvas de luz de las SN Ia pero no la abundancia en metales.

Se han observado también 6 galaxias con el 10.4m Gran Telescopio Canarias ($0.4 < z < 0.5$). Se han determinado las metalicidades estelares para todas ellas, y la abundancia de oxígeno para una de ellas.

Por último, se han determinado los parámetros cosmológicos con las SNe Ia de WHT, SDSS y GTC con el procedimiento tradicional y con la inclusión de la metalicidad como parámetro adicional para nuestra muestra completa de galaxias. No hemos encontrado diferencias significativas en los parámetros cosmológicos lo que achacamos a la falta de objetos a alto redshift ($0.45 < z < 1.4$) en nuestra muestra, pues dichos parámetros son muy sensibles en este rango de corrimiento al rojo, donde se han observado SNe Ia pero donde aún no se han determinado abundancias de oxígeno del gas ni tampoco metalicidades estelares. Esto implica que necesitaremos realizar observacio-

nes, ya en el infrarrojo, de las galaxias de este rango, para poder determinar abundancias y/o metalicidades y así finalizar el estudio con el mayor rango posible en *redshift*.

Por otra parte, este último resultado no concuerda con lo obtenido recientemente por Campbell et al. (2016), también con una muestra de SDSS, que sí muestra una diferencia en dichos parámetros (menor Ω_M cuando se tiene en cuenta la metalicidad) y menor dispersión, de la misma manera que la encontrada en nuestro trabajo. Ello refuerza la necesidad de incluir un trazador de metalicidad, como la abundancia de oxígeno de la galaxia anfitriona, para minimizar el efecto sistemático inducido por la dependencia de la luminosidad de las SNe Ia con la metalicidad en futuros estudios de SNe Ia a distancias cosmológicas.

Así, proponemos que el uso de tres parámetros, en lugar de dos, es necesario a la hora de reducir la dispersión sistemática encontrada en la magnitud absoluta de las SNe Ia. El tercer parámetro ha de ser la abundancia de oxígeno. Este hecho está respaldado por la mejoría de 5.1 % en la dispersión de M_B tras la inclusión de la abundancia de oxígeno. Este es un paso adelante en comparación con los estudios realizados hasta la fecha. En un futuro próximo, será posible realizar análisis más detallados utilizando técnicas de espectroscopía de campo integral. La dependencia con la metalicidad encontrada en este trabajo podría ser importante para la cosmología de supernovas en el presente y en el futuro, ayudando a minimizar la dispersión en el diagrama de Hubble con SN Ia.

10.1. Trabajo futuro

Todo lo desarrollado hasta el momento comprende un rango de *redshift* hasta 0.50 aproximadamente. Sin embargo, la inclusión de objetos a más alto *redshift* es de vital importancia para el siguiente paso lógico a aplicar. A alto *redshift* es donde los distintos modelos cosmológicos difieren, y la contribución de la Energía Oscura a la expansión acelerada del universo puede ser medida. Es por ello por lo que necesitamos obtener datos espectroscópicos de galaxias anfitrionas de SNe Ia en este rango ($z > 0.5$). Hasta la fecha, no existen datos espectroscópicos de galaxias anfitrionas de SNe Ia a alto z . Estas observaciones habrán de realizarse en el Infrarrojo cercano (NIR, del inglés *Near Infrared*), debido al desplazamiento al rojo de las líneas utilizadas para el cálculo de las abundancias de oxígeno. De estos datos se prevén dos diferentes líneas de actuación. Por una parte, una caracterización de las galaxias anfitrionas de SNe Ia a alto z ; y un análisis cosmológico junto con los datos a bajo e intermedio z presentados en esta tesis, con lo que seremos capaces por primera vez de estudiar los residuos de Hubble obtenidos a partir de parámetros de las galaxias anfitrionas para el rango completo de *redshift*.

Para ello se han elaborado varias propuestas de observación, que han sido

aceptadas, y entre las que estoy como co-investigador. Estas observaciones se realizarán a lo largo del próximo semestre (2016B), con los instrumentos FIRE, ubicado en el telescopio Magellan 1 - Baade (Observatorio Las Campanas, Chile) y KMOS, instalado en el VLT (Very Large Telescope), en el Observatorio de Paranal, Chile.

En ellas se propone completar la muestra obtenida hasta la fecha con galaxias con z entre 0.52 y 0.95, donde los modelos cosmológicos con diferentes parámetros cosmológicos se distinguen de manera clara. Entonces, seremos capaces de construir un diagrama de Hubble estandarizando las distancias para estas SNe Ia, con y sin un nuevo parámetro relativo a la metalicidad de la galaxia. Con este nuevo parámetro esperamos reducir la dispersión en los residuos del diagrama de Hubble. Los principales objetivos son:

1. Obtener la metalicidad de las galaxias anfitrionas de SNe Ia en un rango de z que no ha sido explorado por completo previamente, a través de las líneas de emisión de las galaxias anfitrionas (principalmente [N II] y $H\alpha$).
2. Comparar las metalicidades de las galaxias anfitrionas entre las muestras de alto y bajo *redshift* y comprobar cualquier efecto del *redshift* en la evolución de las galaxias.
3. Producir un diagrama de Hubble con la metalicidad de las galaxias anfitrionas como parámetro adicional, añadiendo el efecto de la metalicidad en la calibración de las SNe Ia como indicadores precisos de distancias.

Disponemos de una muestra de 80 galaxias a alto z con sus curvas de luz disponibles en varias bandas. Para este semestre de 2016B se han seleccionado 20 galaxias para ser observadas, y comenzar así el estudio.

Capítulo 11

Conclusions

In this thesis I have presented a systematic analysis of oxygen abundances in galaxies hosting SNe Ia at low and intermediate redshift, and I have gone in depth in the knowledge we have about parameters that affect SNe Ia luminosity.

I have made use of long slit spectroscopic techniques with intermediate-resolution at the 4.2m WHT to derive local abundances in the environments of 28 SNe Ia were detected within 28 local galaxies ($z < 0.02$). I have calculated SNe Ia absolute magnitudes using the parameters given by modern techniques, like SALT2. I have also examined the possible dependence of SNe Ia luminosity on metallicity. For that I have applied the most recent empirical calibrations found in literature, based on the parameters $N2$ and $O3N2$, which are appropriate for measuring abundances in well resolved H II regions. I have obtained radial abundance gradients to get a value of local oxygen abundance for each SN Ia, improving previous works that gave a global metallicity value from a unique host galaxy spectrum, or even worst, from the mass-metallicity relation. With this work the precision in the oxygen abundances determined in SNe Ia host galaxies can be improved by ~ 0.2 dex. For normal SNe Ia data indicate, with a 80 % of chance not being due to random fluctuation, that most metal-rich galaxies seem to host fainter SNe Ia. This observational tendency is in agreement with theoretical models. The existence of such a dependence M_B - Z would naturally explain the observational result after correcting for the LC parameters that the brightest SNe Ia are usually found in metal-rich or massive galaxies. The standard calibration tends to overestimate the maximum luminosities of SNe Ia located in metal-rich galaxies.

Considering both normal and reddened SNe Ia, I have analyzed the color effect on M_B . I have demonstrated the fact that metal-rich galaxies host fainter SN Ia than metal-poor galaxies is extensive to reddened SNe Ia. The metallicity effect should not be neglected when deriving M_B (or distance modulus) with supernova cosmology techniques, due to the dependence on

oxygen abundance presents a non zero value in the covariance matrix. This correction appears as a second order term before the color correction since, for this sample in particular, s has a very low dispersion. The relationship found here for star forming galaxies shows the progenitor metallicity plays an important role in the SN Ia luminosity, and consequently, in the estimated distances.

As a particular case to the observations at WHT, I present the spectral analysis for the SN2014J. I position SN 2014J in the Benetti et al. (2005), Branch et al. (2006) and Wang et al. (2009) diagrams. These diagrams are based on properties of the Si II features and provide dynamical and chemical information about the SN ejecta. SN 2014J is a border-line object between the Core-normal (CN) and Broad-line (BL) groups, which corresponds to an intermediate position between Low Velocity Gradient (LVG) and High Velocity Gradient (HVG) objects.

Besides that I have performed a systematic analysis between the SNe Ia properties and the characteristics of their host galaxies for a sample of 455 SNe Ia extracted from Sloan Digital Sky Survey II (SDSS-II) up to $z < 0.45$. I have obtained the oxygen abundances for the galaxies by using empirical calibrations and the SNe Ia parameters by fitting their light curves with the code SiFTO. I have use as well the code STARLIGHT to derive the host galaxies stellar masses. I find a correlation between the SN Ia Hubble Residuals and the oxygen abundance (also with the stellar mass) of these host galaxies with a similar value from other authors. These trends may be explained due to a overestimation of the SN Ia luminosity located in metal-rich environments when the cosmological standard method is used, which accounts for SNe Ia color and stretch and neglects metallicity.

I have also observed 6 galaxies with the 10.4m Gran Telescopio Canarias ($0.4 < z < 0.5$). I have determined stellar metallicities for all of them, and the oxygen abundance only for one.

Finally, I have determined the cosmological parameters with the SNe Ia from WHT, SDSS and GTC using the traditional procedure and with the inclusion of metallicity as an additional parameter for the whole galaxy sample. I have not found significant differences in the cosmological parameters, something is though to be due to the lack of high redshift objects ($0.45 < z < 1.4$) in the sample. These parameters are very sensitive to that redshift range, where SNe Ia have been observed but there are not any neither oxygen abundance nor stellar metallicities determinations. It implies the necessity to observe in the infrared in order to determine abundances or metallicities and finalize the analysis with a proper redshift range.

On the other hand, this last result does not agree with other results obtained recently by Campbell et al. (2016), using as well a SDSS sample, which show a difference in such parameters (lower Ω_M when considering metallicity) and lower dispersion. That strengthen the need of include a metallicity

proxy, like the host galaxy oxygen abundance, to minimize the systematic effects induced by the dependence of SNe Ia luminosities on metallicity in future works of SNe Ia at cosmological distances.

So I propose the use of three parameters, rather than two, is needed to reduce the systematic scatter found in SNe Ia M_B . One such parameter has to be the oxygen abundance. This fact is endorsed by the reduction in the M_B scatter of a 5.1 % after the inclusion of the oxygen abundance. This is a step forward in comparison with other works developed so far. In the near future, it will be possible to carry out more detailed analyses using integral field spectroscopy techniques. The dependence on metallicity found in this work could be important for supernova cosmology, helping to minimize the dispersion found in the Hubble diagram using SNe Ia.

11.1. Future work

We have already compiled data and are able to perform this study up to $z=0.5$, however the addition of higher redshift objects to the sample is critical, since these are in a redshift range where different cosmological models differ, and the Dark Energy contribution to the expanded acceleration of the Universe can be measured. For this reason, we need to obtain spectroscopy of galaxies that hosted SNe in these range of redshifts. Previous spectroscopic studies are limited to low- z . Since some of the emission lines needed to determine the oxygen abundance are shifted outside the optical wavelength range, NIR spectra are needed to measure emission lines of these galaxies. From this data we foresee two different studies: a characterisation of the high- z SN host galaxy sample, and cosmological analysis with the low-int- and high- z samples where for the first time Hubble residual dependences on host galaxy parameters will be proved for the whole range of redshifts.

In order to develop this work we have prepared several observation proposals, which have been accepted. These observations will be carried out within the next semester (2016B), with the instruments FIRE located in the Magellan 1 - Baade Telescope (Las Campanas Observatory, Chile); and with KMOS, placed in VLT, at Paranal Observatory, Chile.

We propose to complete present by including SN Ia host galaxies with redshifts in a range between 0.52 and 0.95, where cosmological models with different cosmological parameters can be clearly distinguished. Then, we will be able to construct a Hubble diagram standardizing distances for these SNe Ia, with and without a new parameter accounting for host galaxy Z . With this new parameter we expect to reduce the scatter of the Hubble diagram residuals to the best fit cosmology, by reducing the systematic errors of SNe Ia standardization. Our main project aims can be listed as:

1. Obtain SN Ia host galaxy Z at a redshift range which has not been fully explored previously, through host emission line ratios (in particular $[\text{N II}]$ and $\text{H}\alpha$).
2. Compare host Z values between our high- and low- z samples and probe any redshift evolutionary effects.
3. Through comparison of Z with LC parameters, produce a Hubble diagram with host Z as an additional parameter, and hence constrain the effect of Z on the calibration of SNe Ia as accurate distance indicators.

We have compiled a sample of 80 high- z SNe Ia from the literature for which we already possess their multi wavelength light curves. For this semester, 20 have been selected to be observed so that the project can start.

Apéndice A

Espectros de las galaxias observadas con WHT

A continuación se presentan los espectros de todas las regiones medidas con las observaciones usando el espectrógrafo ISIS en el WHT. Cada figura contiene tantos espectros como regiones se hayan medido, divididos en dos (brazo azul y brazo rojo). Asimismo, están ordenados radialmente de abajo a arriba en orden creciente (no escalado). Se muestran con línea punteada aquellos espectros que no han sido útiles a la hora del cálculo de las metalicidades, ya sea porque han sido clasificados como AGNs o porque no disponen de líneas de emisión alguna (muestran el espectro de las poblaciones estelares que pueblan la región medida).

Se presentan en unidades de flujo normalizado a $H\beta$ cuando hay espectro en el azul, y respecto a $H\alpha$ cuando únicamente se dispone de espectro para el brazo rojo. Las principales líneas de emisión vienen identificadas para facilitar la comprensión de las figuras.

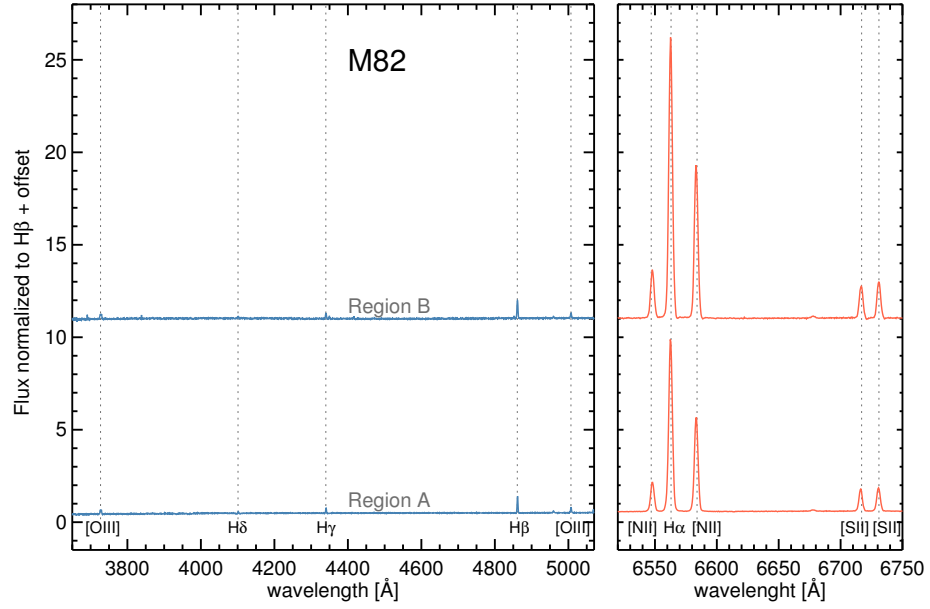


Figura A.1 Espectros de M82.

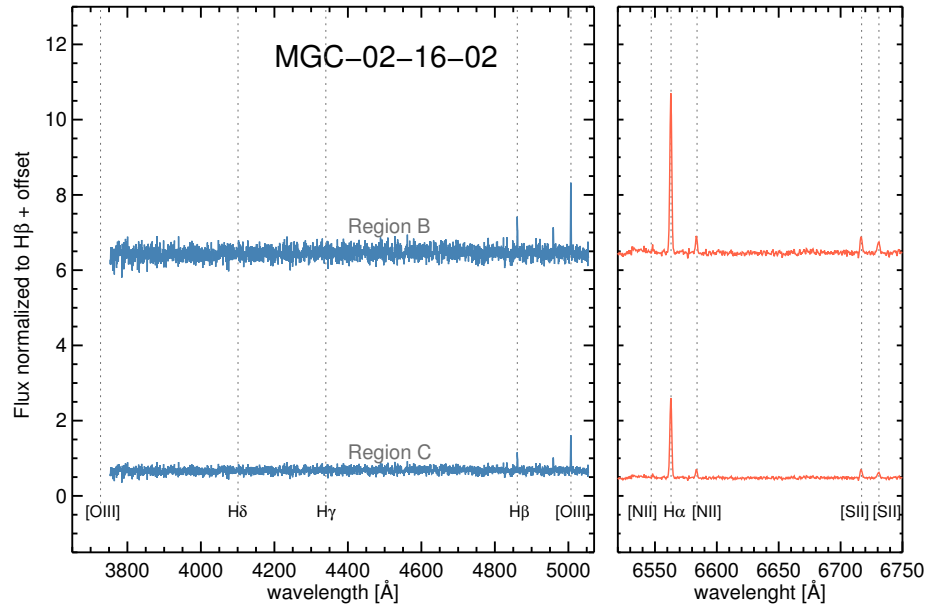


Figura A.2 Espectros de MCG-02-16-02.

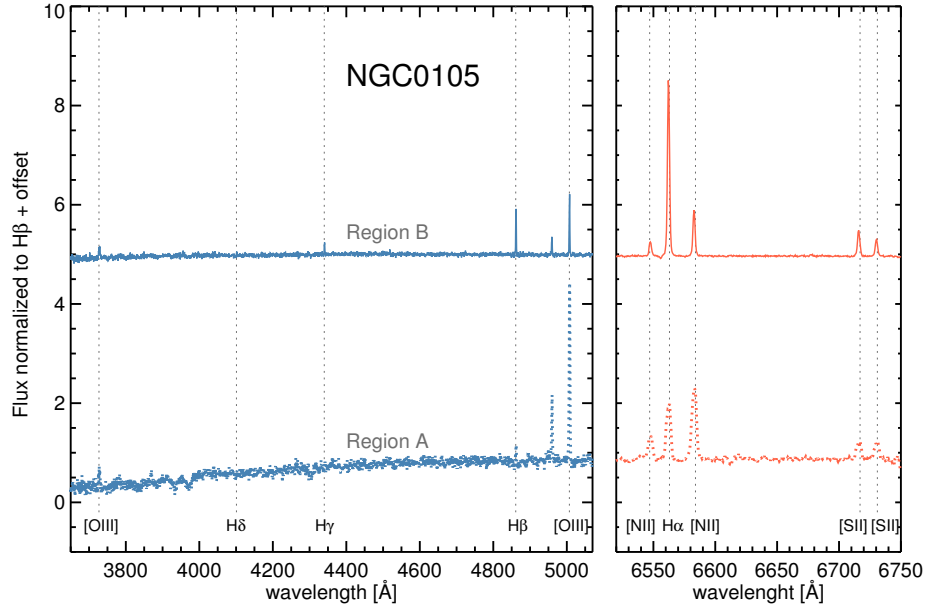


Figura A.3 Espectros de NGC 0105.

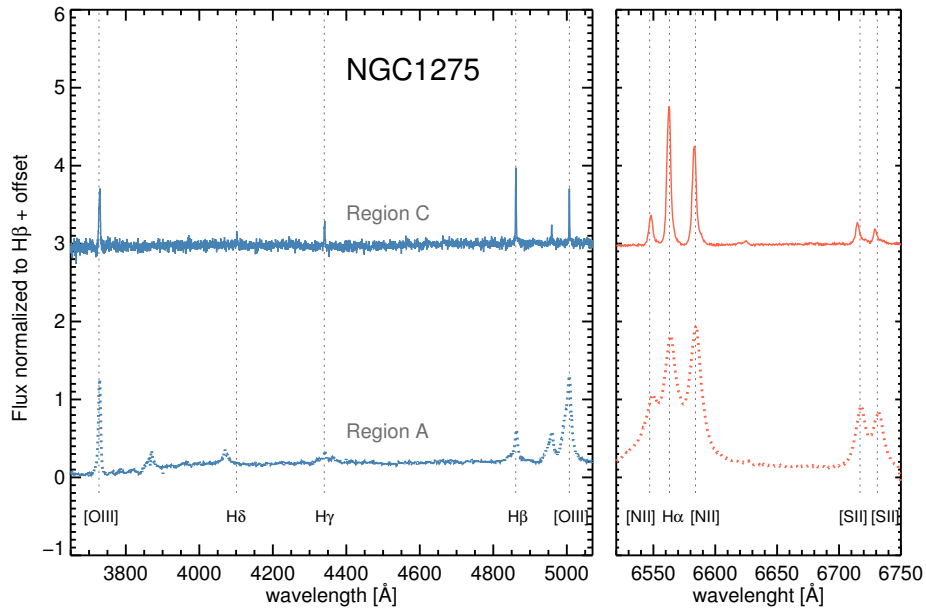


Figura A.4 Espectros de NGC 1275.

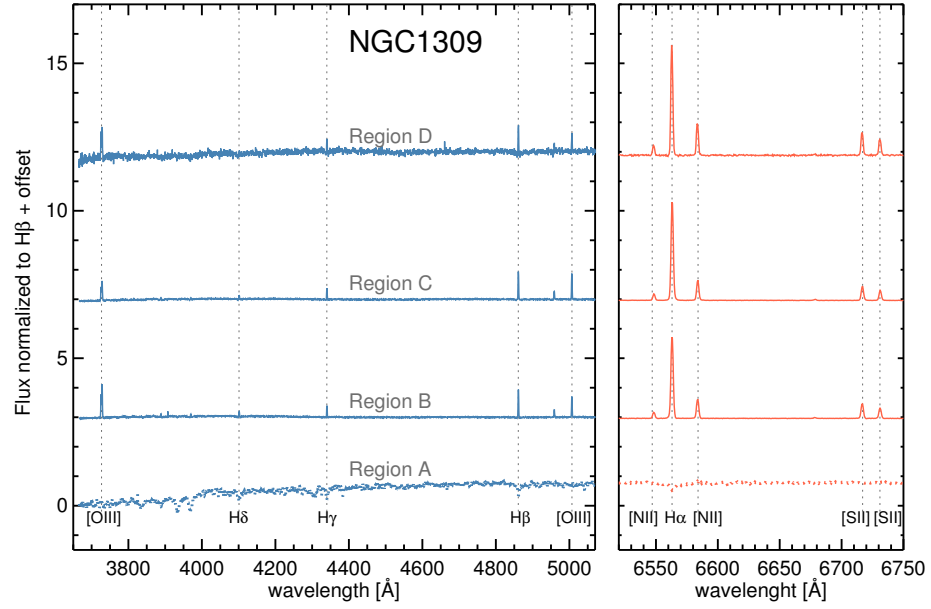


Figura A.5 Espectros de NGC 1309.

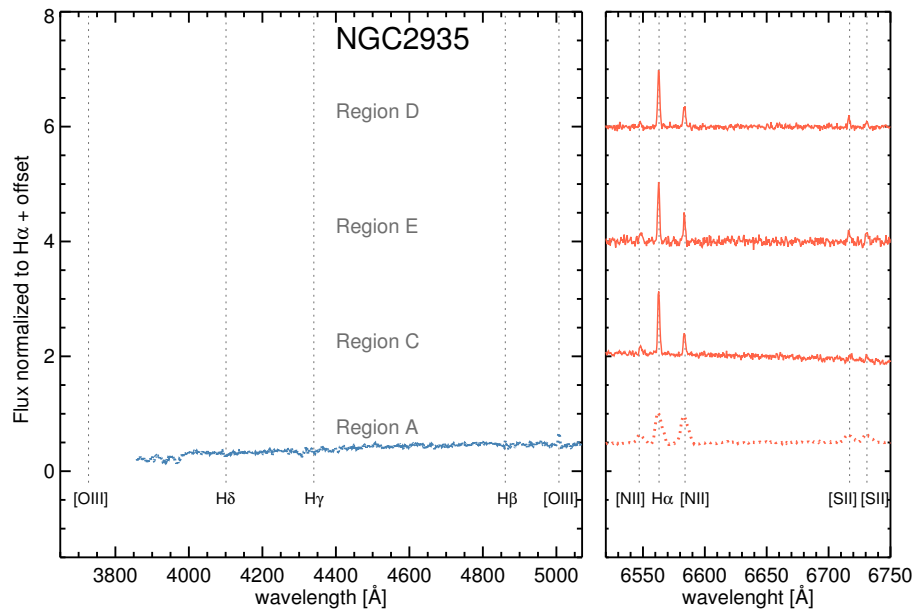


Figura A.6 Espectros de NGC 2935.

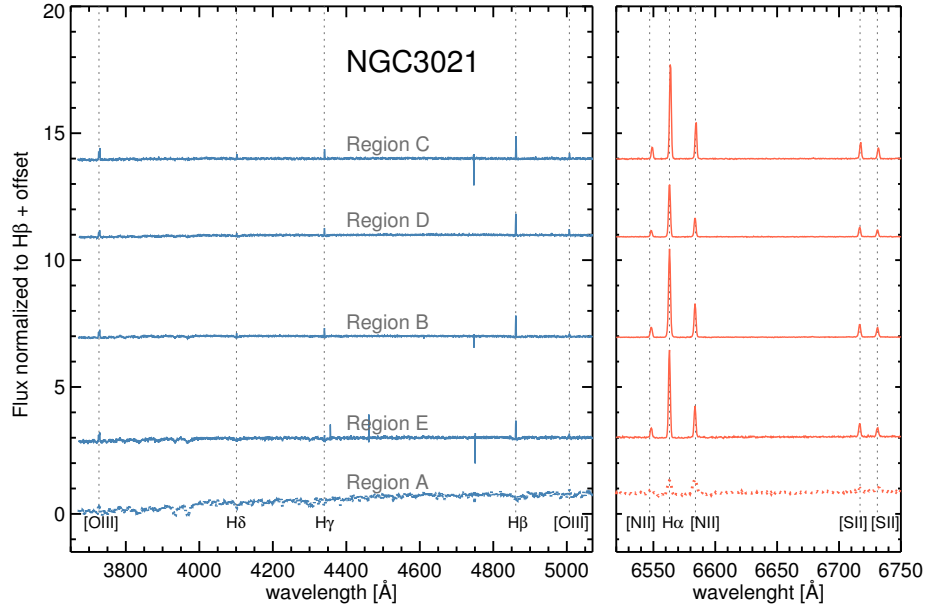


Figura A.7 Espectros de NGC 3021.

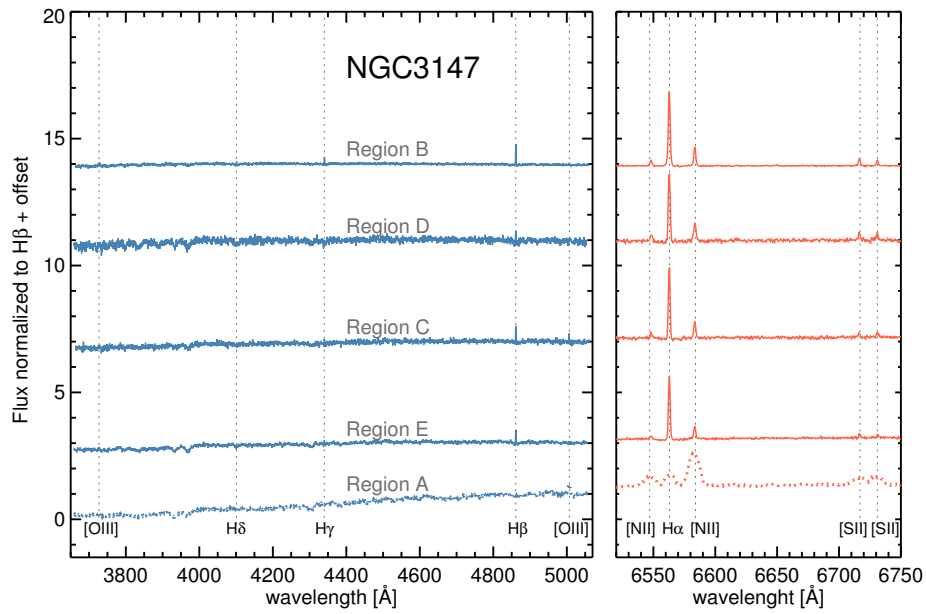


Figura A.8 Espectros de NGC 3147.

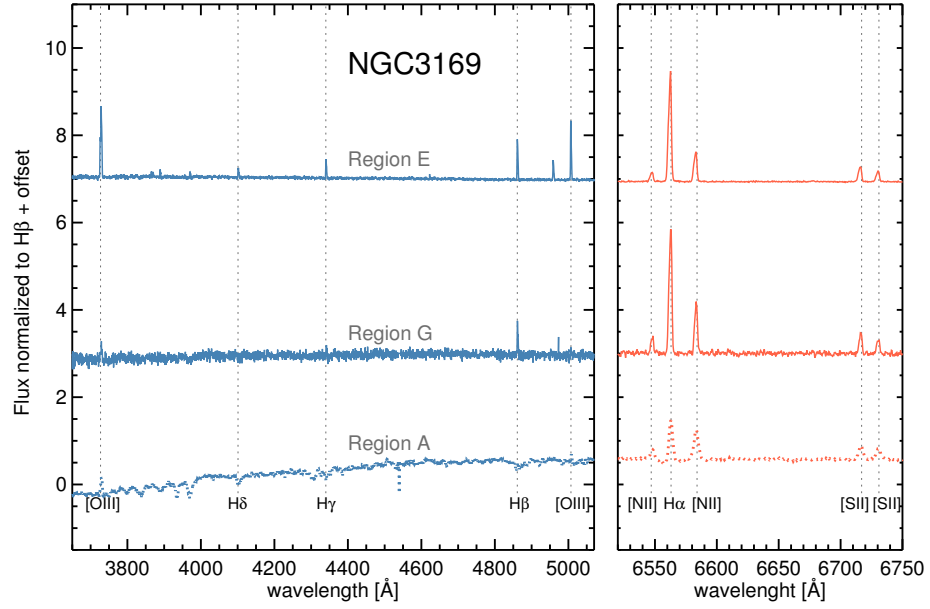


Figura A.9 Espectros de NGC 3169.

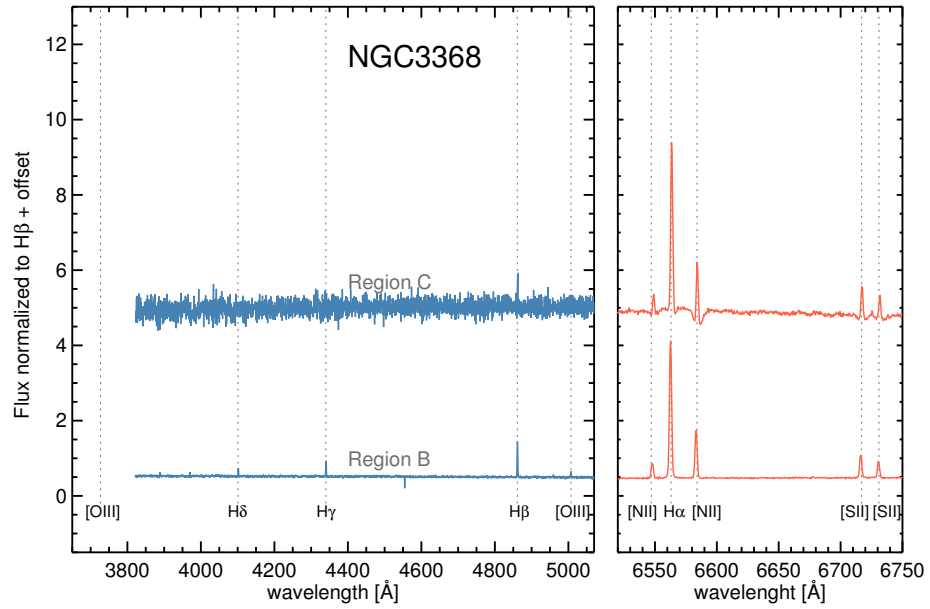


Figura A.10 Espectros de NGC 3368.

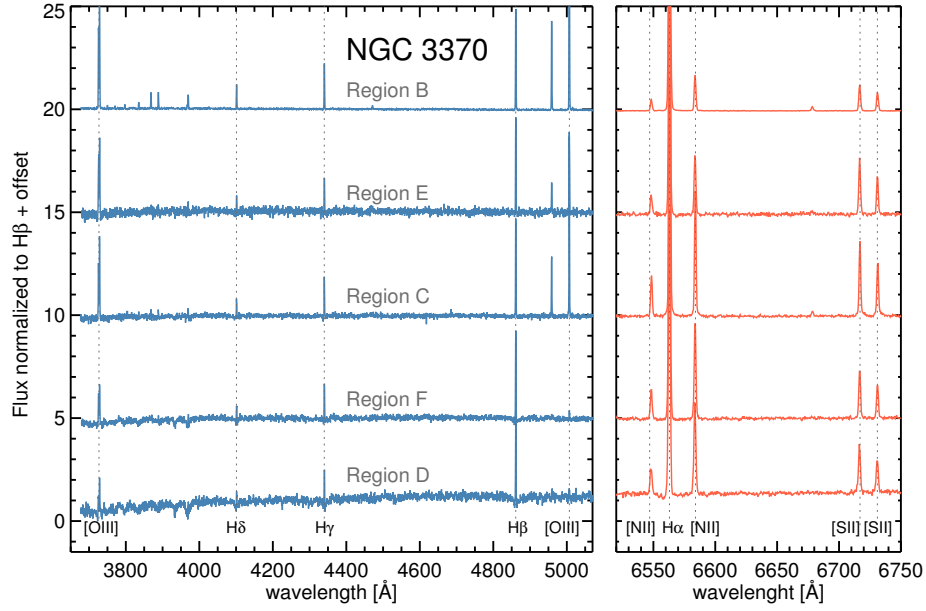


Figura A.11 Espectros de NGC 3370.

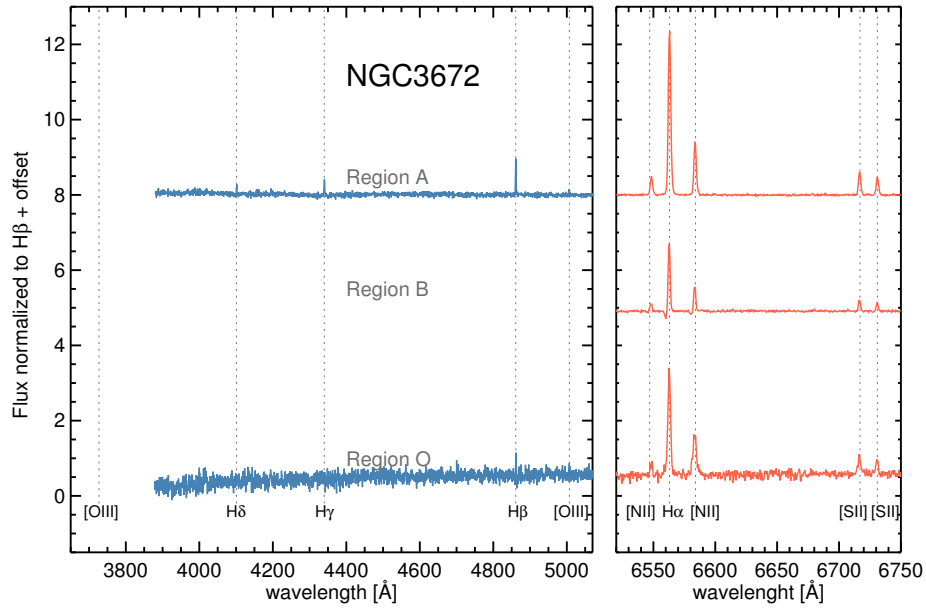


Figura A.12 Espectros de NGC 3672.

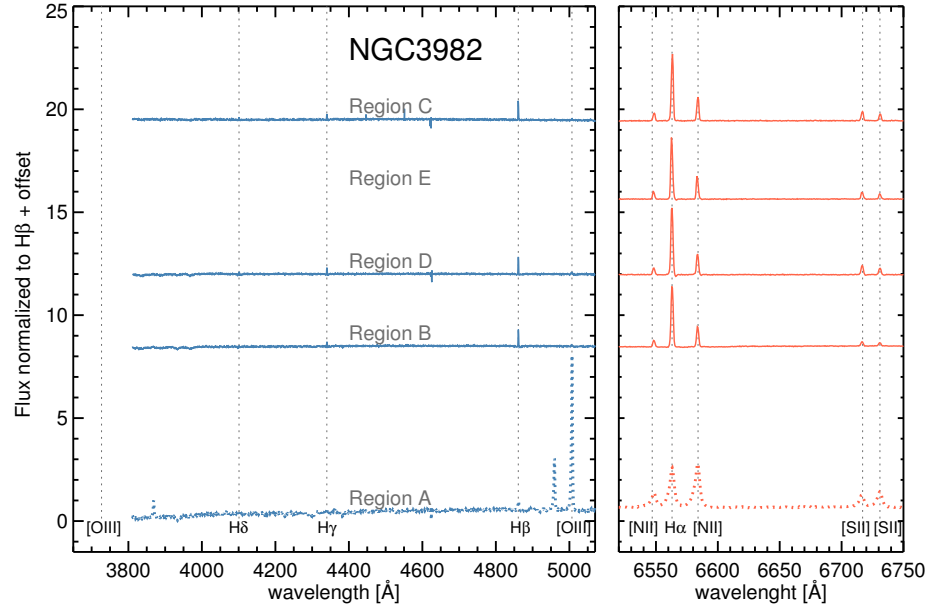


Figura A.13 Espectros de NGC 3982.

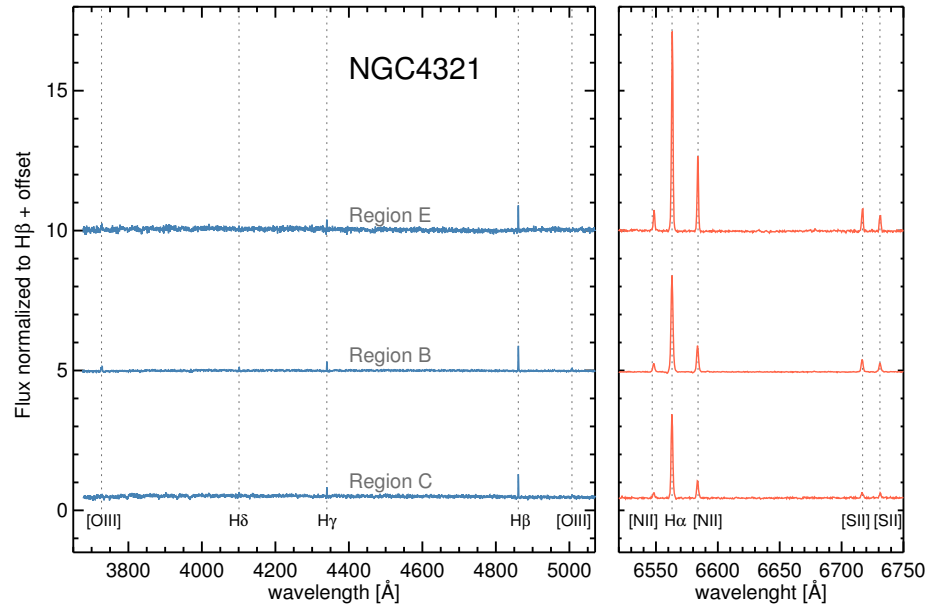


Figura A.14 Espectros de NGC 4321.

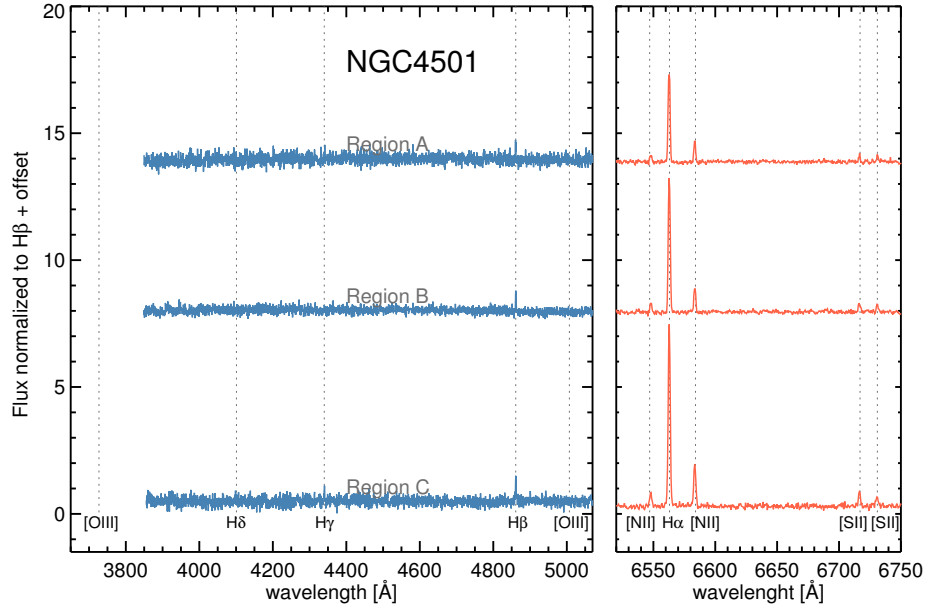


Figura A.15 Espectros de NGC 4501.

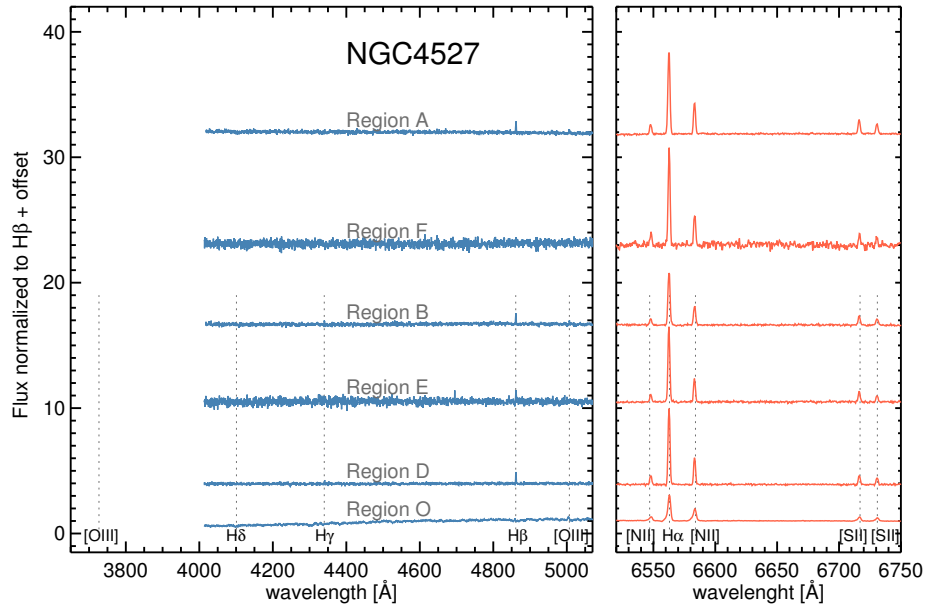


Figura A.16 Espectros de NGC 4527.

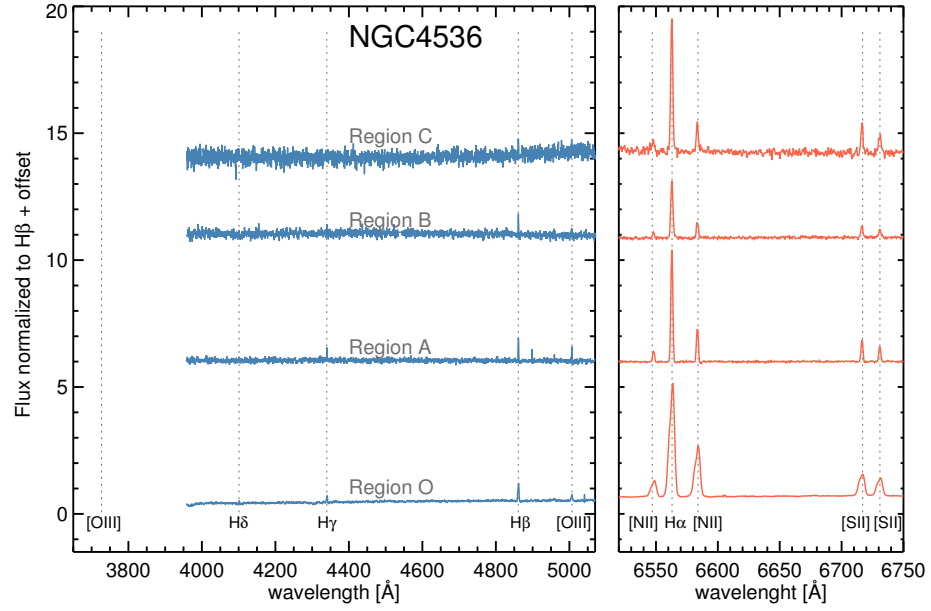


Figura A.17 Espectros de NGC 4536.

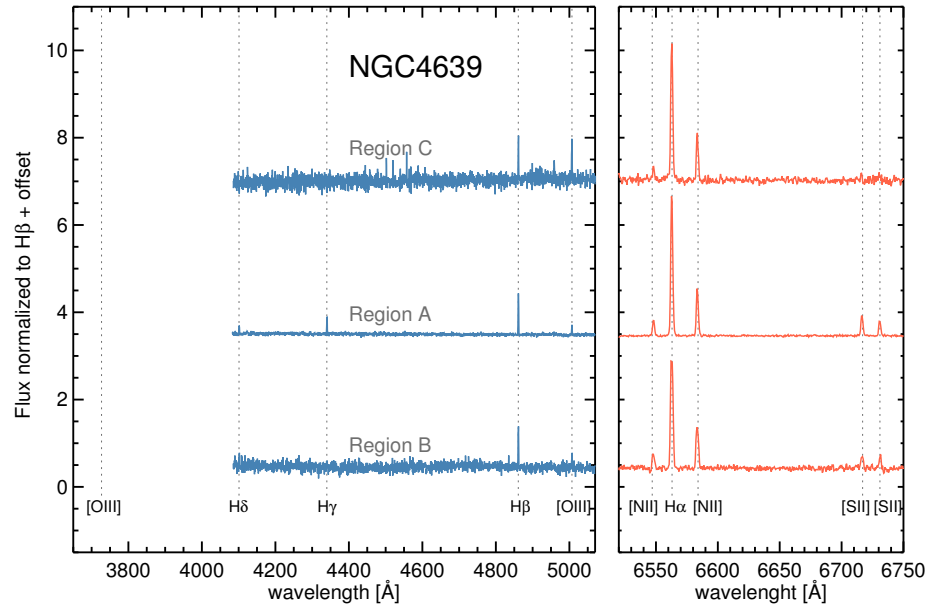


Figura A.18 Espectros de NGC 4639.

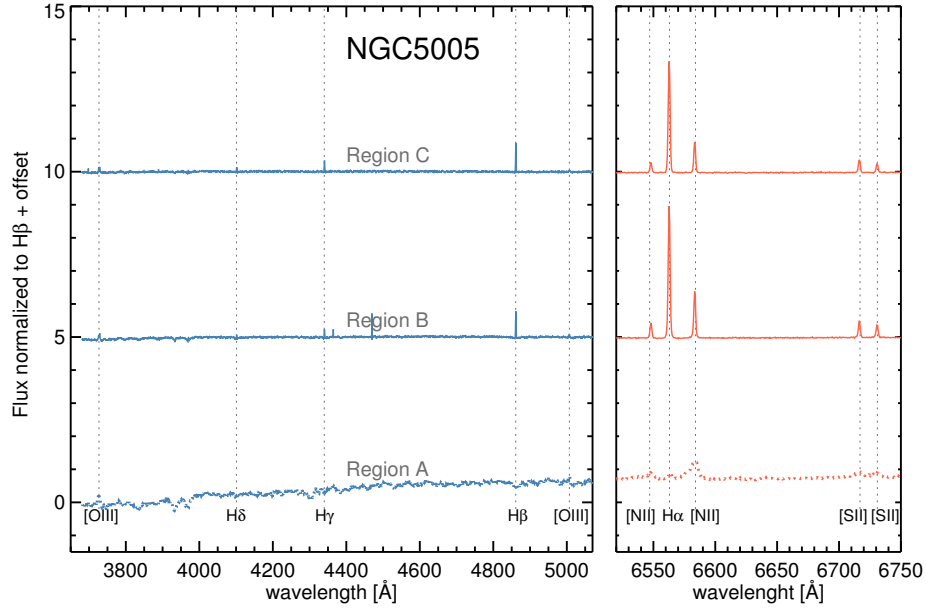


Figura A.19 Espectros de NGC 5005.

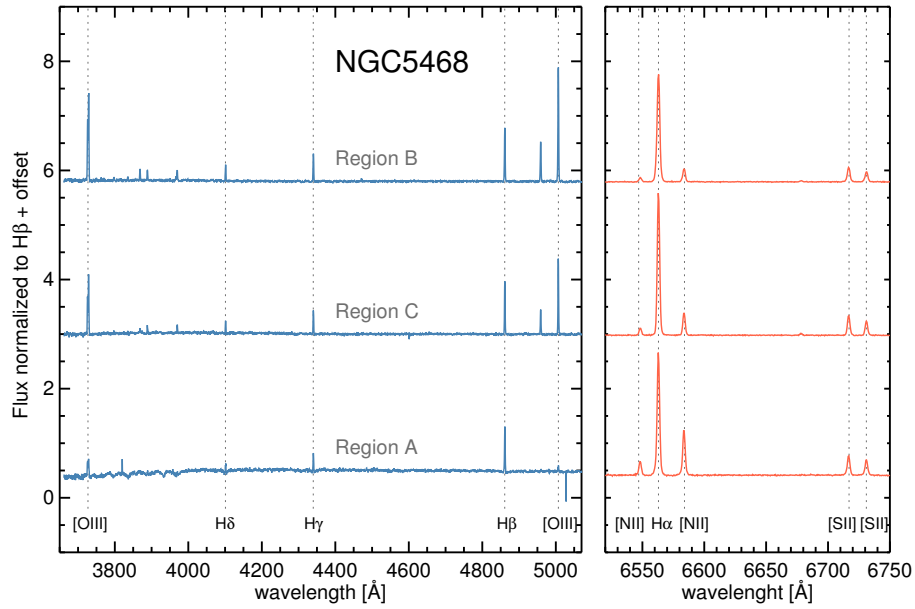


Figura A.20 Espectros de NGC 5468.

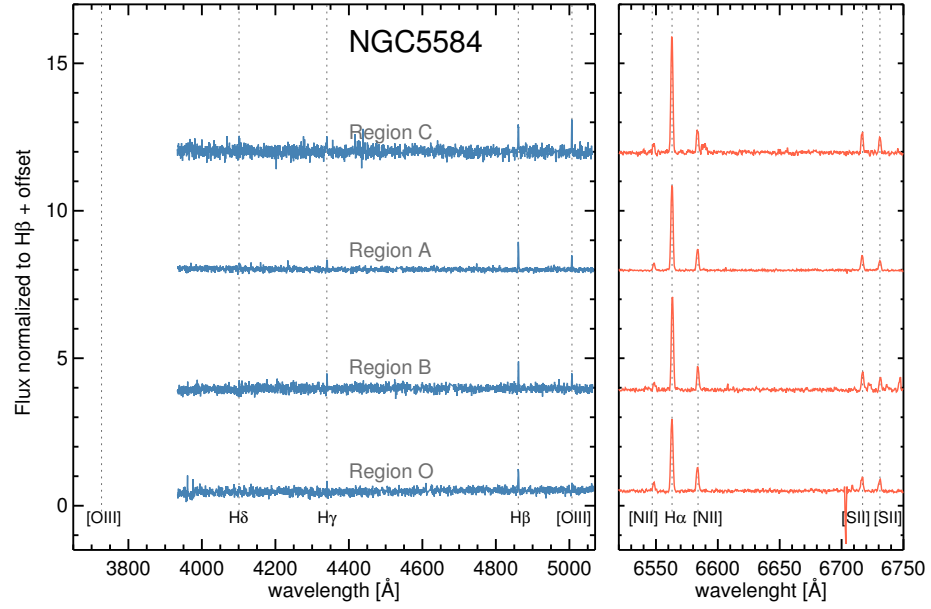


Figura A.21 Espectros de NGC 5584.

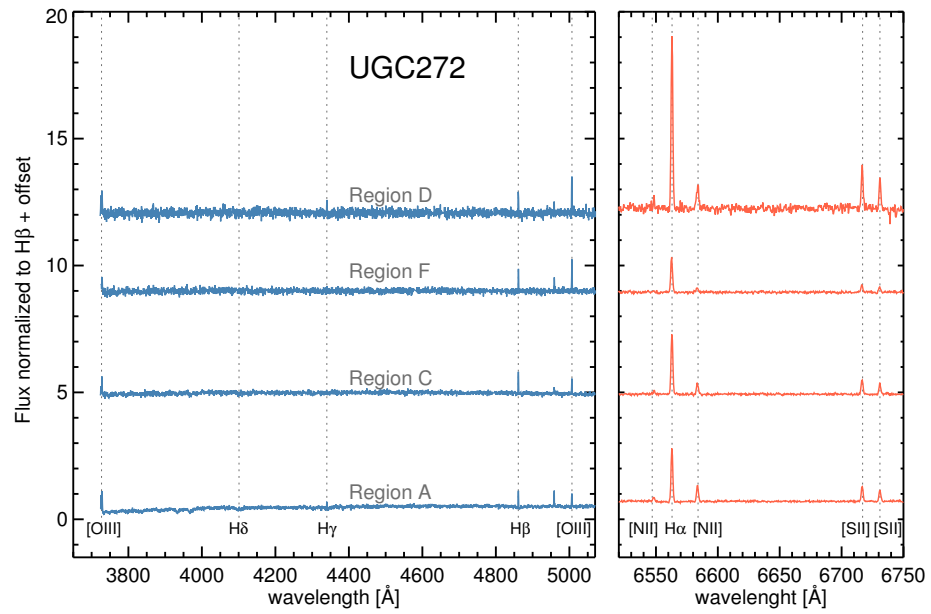


Figura A.22 Espectros de UGC 00272.

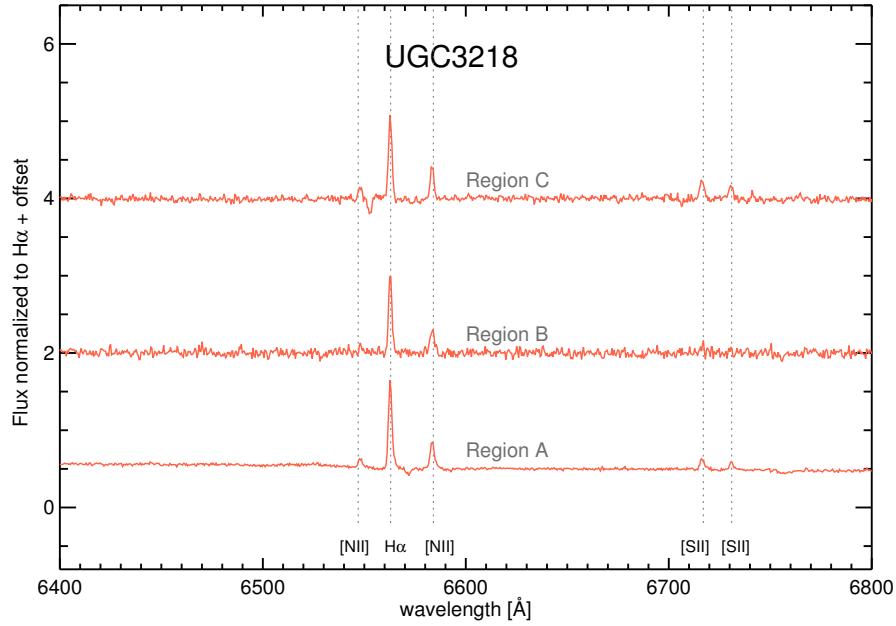


Figura A.23 Espectros de UGC 03218.

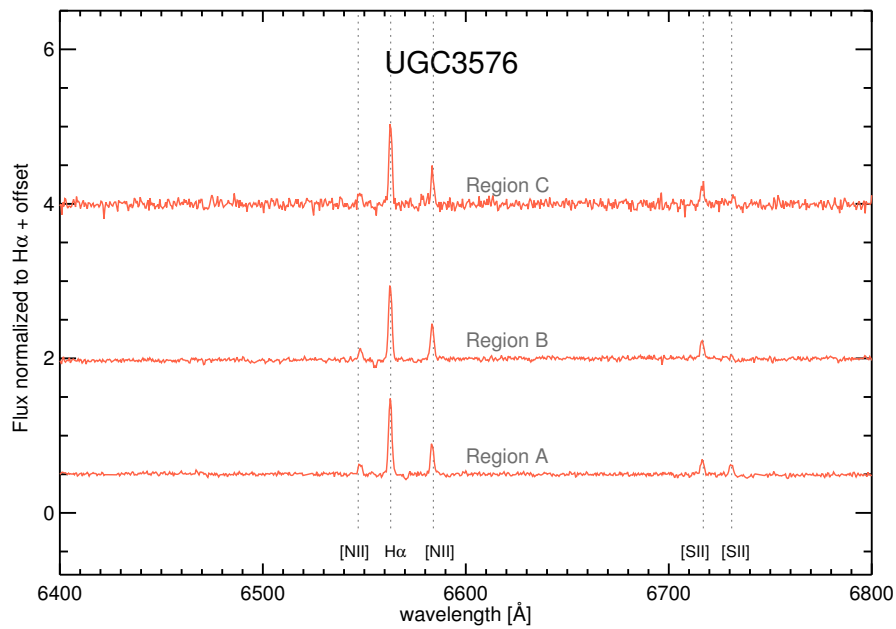


Figura A.24 Espectros de UGC 03576.

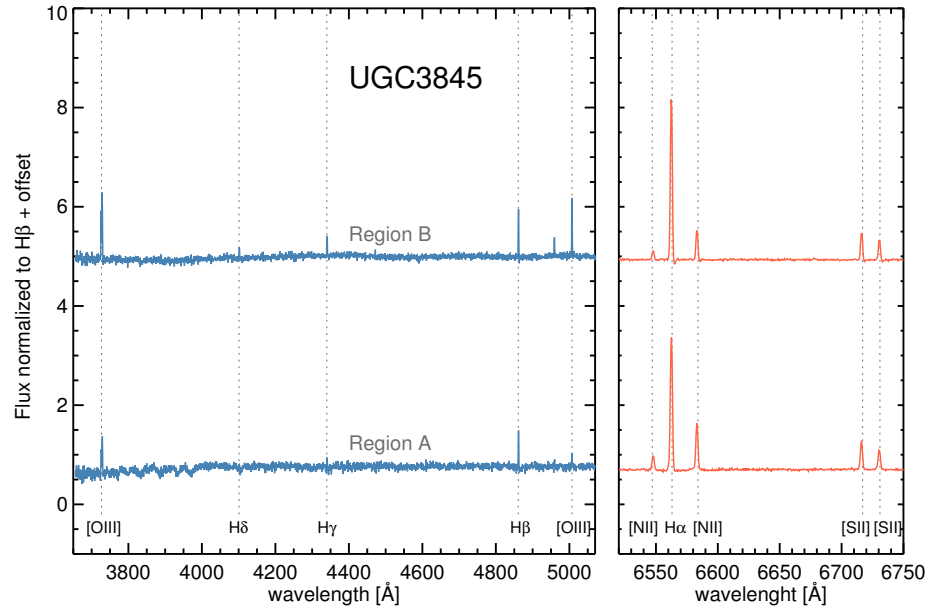


Figura A.25 Espectros de UGC 03845.

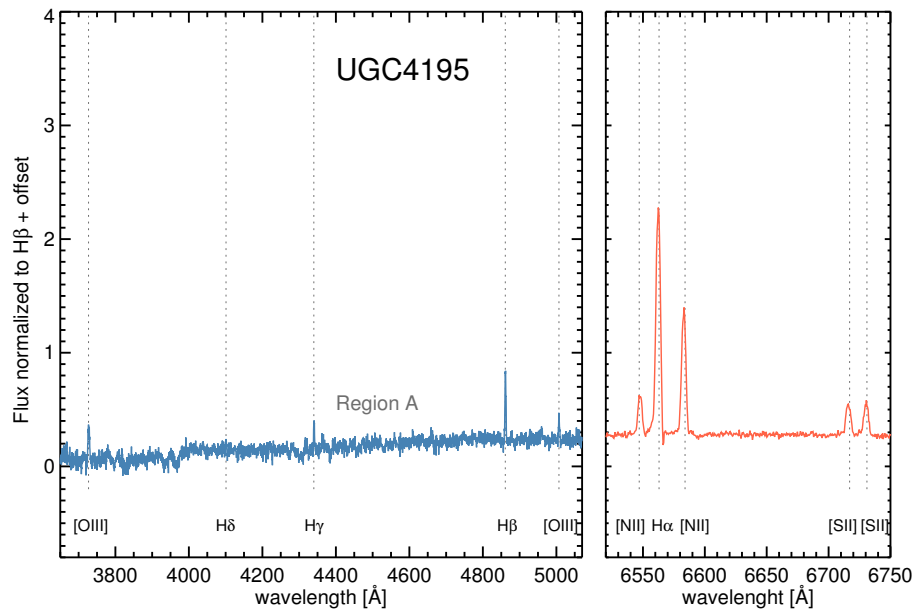


Figura A.26 Espectros de UGC 04195.

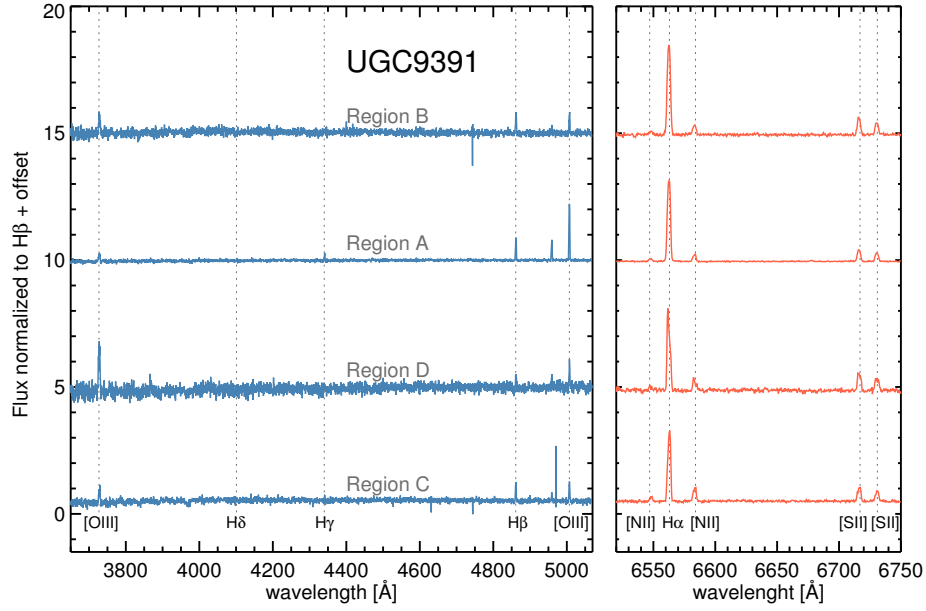


Figura A.27 Espectros de UGC 09391.

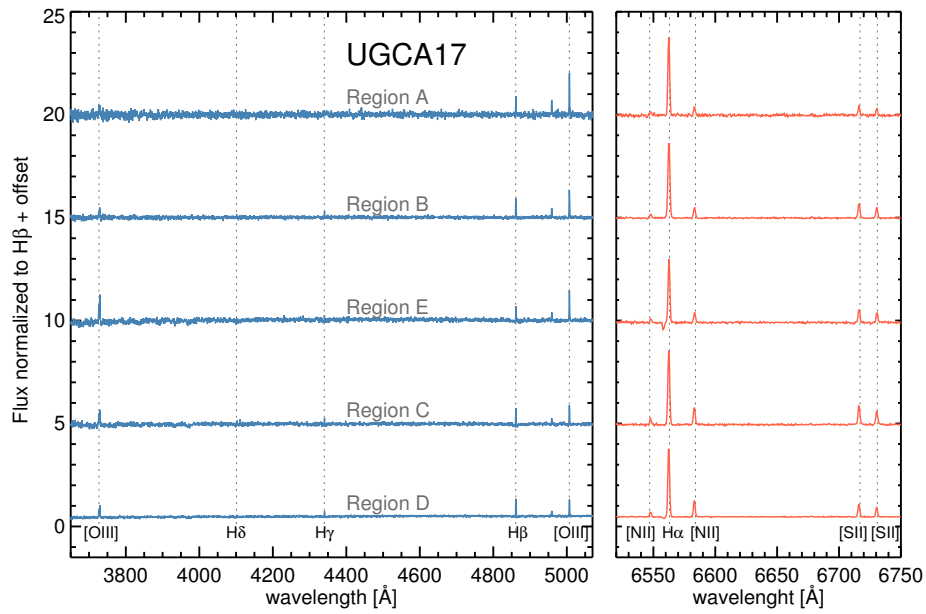


Figura A.28 Espectros de UGCA 017.

Apéndice B

Líneas de emisión de los espectros de las galaxias observadas con el WHT

Este apéndice proporciona una tabla con las intensidades de las líneas para la muestra de espectros obtenidos con el espectrógrafo ISIS en el WHT. Todas las intensidades vienen dadas en referencia a $H\beta$ excepto aquellas etiquetadas como ^a, cuyos espectros no disponen de medidas de $H\beta$. En estos casos, las intensidades de las líneas vienen dadas en función de $H\alpha$.

Tabla B.1: Coeficientes de enrojecimiento e intensidades para las líneas de emisión encontradas en cada uno de los espectros analizados de la muestra de galaxias observadas con el WHT. Las intensidades son respecto a $I(\text{H}\beta)$. Para aquellas regiones donde $I(\text{H}\beta)$ no pudo ser medida, las intensidades están divididas entre $I(\text{H}\alpha)$.

Galaxy	Región	$c(\text{H}\beta)$	$I([\text{O II}])$ $\lambda 3727$	$I(\text{H}\gamma)$ $\lambda 4340$	$I(\text{H}\beta)$ $\lambda 4861$	$I([\text{O III}])$ $\lambda 5007$	$I(\text{H}\alpha)$ $\lambda 6563$	$I([\text{N II}])$ $\lambda 6584$	$I([\text{S II}])$ $\lambda 6717$	$I([\text{S III}])$ $\lambda 6731$
M 82	A	1.93 ± 0.01	...	0.67 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.31 ± 0.01	2.86 ± 0.02	1.52 ± 0.01	0.29 ± 0.03	0.33 ± 0.03
M 82	B	2.22 ± 0.01	...	0.67 ± 0.03	1.00 ± 0.01	0.27 ± 0.01	2.86 ± 0.05	1.53 ± 0.03	0.28 ± 0.01	0.31 ± 0.01
MCG-02-16-02	B	0.60 ± 0.16	...	...	1.00 ± 0.16	2.05 ± 0.50	2.86 ± 0.67	0.28 ± 0.07	0.31 ± 0.08	0.22 ± 0.06
MCG-02-16-02	C	0.58 ± 0.12	...	...	1.00 ± 0.14	2.51 ± 0.50	2.86 ± 0.03	0.21 ± 0.02	0.18 ± 0.03	0.09 ± 0.06
NGC 0105	A	0.52 ± 0.14	...	...	1.00 ± 0.14	9.03 ± 1.77	2.86 ± 0.56	3.98 ± 0.78	0.87 ± 0.18	0.85 ± 0.18
NGC 0105	B	0.34 ± 0.02	...	0.28 ± 0.03	1.00 ± 0.02	1.27 ± 0.04	2.86 ± 0.09	0.77 ± 0.02	0.47 ± 0.02	0.31 ± 0.01
NGC 0105	C	0.94 ± 0.06	...	...	1.00 ± 0.06	4.25 ± 0.39	2.86 ± 0.26	0.15 ± 0.02	0.29 ± 0.03	0.22 ± 0.02
NGC 1275	C	0.02 ± 0.04	...	0.34 ± 0.04	1.00 ± 0.04	0.65 ± 0.04	2.86 ± 0.15	2.19 ± 0.11	0.51 ± 0.03	0.32 ± 0.02
NGC 1309	B	0.17 ± 0.01	2.38 ± 0.04	0.43 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.73 ± 0.01	2.86 ± 0.03	0.66 ± 0.01	0.51 ± 0.01	0.36 ± 0.03
NGC 1309	B+C	0.35 ± 0.01	2.23 ± 0.04	0.44 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.78 ± 0.01	2.86 ± 0.02	0.63 ± 0.01	0.48 ± 0.03	0.35 ± 0.03
NGC 1309	C	0.34 ± 0.01	1.56 ± 0.04	0.44 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.89 ± 0.01	2.86 ± 0.03	0.56 ± 0.01	0.42 ± 0.03	0.28 ± 0.03
NGC 1309	D	0.23 ± 0.04	2.28 ± 0.25	0.50 ± 0.07	1.00 ± 0.04	0.57 ± 0.05	2.86 ± 0.18	0.85 ± 0.05	0.63 ± 0.04	0.48 ± 0.03
NGC 2935	A	1.15 ± 0.10	...	...	1.00 ± 0.10	2.43 ± 0.38	2.86 ± 0.42	2.76 ± 0.40	0.76 ± 0.11	0.75 ± 0.11
NGC 2935 ^a	C	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.02	0.37 ± 0.06	...	...
NGC 2935 ^a	D	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.08	0.45 ± 0.11	0.29 ± 0.24	...
NGC 2935 ^a	E	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.04	0.46 ± 0.08	...	...
NGC 3021	B	0.53 ± 0.01	0.96 ± 0.08	0.50 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.16 ± 0.02	2.86 ± 0.06	1.07 ± 0.02	0.40 ± 0.01	0.30 ± 0.01
NGC 3021	C	0.54 ± 0.02	1.34 ± 0.05	0.56 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.26 ± 0.02	2.86 ± 0.07	1.07 ± 0.03	0.46 ± 0.01	0.33 ± 0.01
NGC 3021	D	0.00 ± 0.01	0.62 ± 0.05	0.35 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.29 ± 0.02	2.86 ± 0.06	1.01 ± 0.02	0.50 ± 0.01	0.35 ± 0.01
NGC 3021	E	0.68 ± 0.03	1.80 ± 0.28	0.35 ± 0.06	1.00 ± 0.03	0.19 ± 0.03	2.86 ± 0.13	1.02 ± 0.05	0.45 ± 0.03	0.33 ± 0.02
NGC 3147	B	0.25 ± 0.03	...	0.45 ± 0.03	1.00 ± 0.03	0.06 ± 0.02	2.86 ± 0.10	0.76 ± 0.03	0.27 ± 0.01	0.19 ± 0.01
NGC 3147	C	0.55 ± 0.06	...	...	1.00 ± 0.06	0.16 ± 0.02	2.86 ± 0.24	0.74 ± 0.07	0.18 ± 0.04	0.23 ± 0.05
NGC 3147	D	1.03 ± 0.16	...	...	1.00 ± 0.16	...	2.86 ± 0.65	1.03 ± 0.24	0.29 ± 0.08	0.23 ± 0.06
NGC 3147	E	0.65 ± 0.05	...	...	1.00 ± 0.05	...	2.86 ± 0.21	0.59 ± 0.05	0.17 ± 0.03	0.13 ± 0.03
NGC 3169	E	0.00 ± 0.02	2.22 ± 0.06	0.41 ± 0.02	1.00 ± 0.02	1.31 ± 0.04	2.86 ± 0.07	0.85 ± 0.02	0.44 ± 0.01	0.31 ± 0.01
NGC 3169	G	0.34 ± 0.08	...	...	1.00 ± 0.08	0.09 ± 0.03	2.86 ± 0.33	1.13 ± 0.13	0.48 ± 0.06	0.36 ± 0.06
NGC 3368	B	0.32 ± 0.01	...	0.45 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.14 ± 0.01	2.86 ± 0.06	1.00 ± 0.02	0.46 ± 0.01	0.32 ± 0.01
NGC 3368	C	0.52 ± 0.12	...	...	1.00 ± 0.12	...	2.86 ± 0.48	0.80 ± 0.14	0.50 ± 0.08	0.32 ± 0.06
NGC 3370	B	0.17 ± 0.03	2.03 ± 0.02	0.49 ± 0.03	1.00 ± 0.03	2.59 ± 0.01	2.86 ± 0.01	0.29 ± 0.03	0.22 ± 0.03	0.16 ± 0.03
NGC 3370	C	0.46 ± 0.01	1.97 ± 0.08	0.42 ± 0.01	1.00 ± 0.01	1.67 ± 0.03	2.86 ± 0.04	0.81 ± 0.01	0.51 ± 0.01	0.39 ± 0.01
NGC 3370	D	0.21 ± 0.03	...	0.43 ± 0.03	1.00 ± 0.03	0.18 ± 0.05	2.86 ± 0.11	0.95 ± 0.04	0.47 ± 0.02	0.35 ± 0.02
NGC 3370	E	0.07 ± 0.02	1.67 ± 0.09	0.39 ± 0.02	1.00 ± 0.02	0.87 ± 0.03	2.86 ± 0.09	0.62 ± 0.02	0.55 ± 0.02	0.36 ± 0.01
NGC 3370	F	0.41 ± 0.01	0.96 ± 0.11	0.49 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.11 ± 0.02	2.86 ± 0.05	0.78 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.28 ± 0.01
NGC 3672	A	0.84 ± 0.03	...	0.72 ± 0.07	1.00 ± 0.03	0.16 ± 0.03	2.86 ± 0.11	0.90 ± 0.04	0.35 ± 0.01	0.27 ± 0.01
NGC 3672	O	1.04 ± 0.14	...	...	1.00 ± 0.14	...	2.86 ± 0.56	1.41 ± 0.29	0.46 ± 0.11	0.32 ± 0.08
NGC 3672 ^a	B	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.01	0.37 ± 0.02	0.17 ± 0.04	0.12 ± 0.06
NGC 3982	A	0.95 ± 0.05	...	...	1.00 ± 0.05	17.38 ± 1.30	2.86 ± 0.21	3.33 ± 0.25	0.78 ± 0.06	1.10 ± 0.08
NGC 3982	B	0.41 ± 0.02	...	0.34 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.12 ± 0.02	2.86 ± 0.07	0.95 ± 0.02	0.20 ± 0.01	0.15 ± 0.01
NGC 3982	C	0.34 ± 0.02	...	0.37 ± 0.02	1.00 ± 0.02	0.09 ± 0.01	2.86 ± 0.08	1.03 ± 0.03	0.41 ± 0.01	0.29 ± 0.01
NGC 3982	D	0.45 ± 0.01	...	0.48 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.23 ± 0.04	2.86 ± 0.05	0.84 ± 0.02	0.39 ± 0.01	0.29 ± 0.01

Continúa en la siguiente página

Tabla B.1: continuación

Galaxy	Región	$c(\text{H}\beta)$	$I([\text{O II}])$ $\lambda 3727$	$I(\text{H}\gamma)$ $\lambda 4340$	$I(\text{H}\beta)$ $\lambda 4861$	$I([\text{O III}])$ $\lambda 5007$	$I(\text{H}\alpha)$ $\lambda 6563$	$I([\text{N II}])$ $\lambda 6584$	$I([\text{S II}])$ $\lambda 6717$	$I([\text{S III}])$ $\lambda 6731$
NGC 3982 ^a	E	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.03	0.38 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.09 ± 0.02
NGC 4321	B	0.43 ± 0.01	0.51 ± 0.07	0.42 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.14 ± 0.02	2.86 ± 0.04	0.75 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.26 ± 0.01
NGC 4321	C	0.36 ± 0.03	...	0.47 ± 0.05	1.00 ± 0.03	...	2.86 ± 0.13	0.61 ± 0.03	0.20 ± 0.02	0.15 ± 0.02
NGC 4321	E	1.05 ± 0.04	...	0.64 ± 0.07	1.00 ± 0.04	...	2.86 ± 0.15	0.97 ± 0.05	0.31 ± 0.02	0.23 ± 0.02
NGC 4501	B	0.97 ± 0.12	...	...	1.00 ± 0.12	...	2.86 ± 0.47	0.50 ± 0.09	0.18 ± 0.04	0.16 ± 0.03
NGC 4501	C	0.94 ± 0.10	...	...	1.00 ± 0.10	...	2.86 ± 0.42	0.69 ± 0.10	0.21 ± 0.04	0.18 ± 0.04
NGC 4501 ^a	A	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.01	0.21 ± 0.05	0.06 ± 0.16	0.07 ± 0.20
NGC 4527	A	1.13 ± 0.07	...	...	1.00 ± 0.07	0.41 ± 0.12	2.86 ± 0.28	1.01 ± 0.10	0.45 ± 0.05	0.32 ± 0.03
NGC 4527	B	0.72 ± 0.06	...	...	1.00 ± 0.06	0.26 ± 0.08	2.86 ± 0.24	1.04 ± 0.09	0.45 ± 0.05	0.38 ± 0.04
NGC 4527	D	1.08 ± 0.06	...	...	1.00 ± 0.06	...	2.86 ± 0.22	0.96 ± 0.08	0.32 ± 0.03	0.25 ± 0.02
NGC 4527	E	0.89 ± 0.15	...	...	1.00 ± 0.15	...	2.86 ± 0.62	0.85 ± 0.19	0.39 ± 0.09	0.24 ± 0.05
NGC 4527 ^a	F	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.02	0.32 ± 0.06	...	...
NGC 4527 ^a	O	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.03	0.53 ± 0.01	0.17 ± 0.03	0.13 ± 0.03
NGC 4536	A	0.60 ± 0.04	...	0.49 ± 0.07	1.00 ± 0.04	0.51 ± 0.05	2.86 ± 0.18	0.83 ± 0.05	0.51 ± 0.03	0.36 ± 0.02
NGC 4536	B	0.33 ± 0.07	...	...	1.00 ± 0.07	0.31 ± 0.20	2.86 ± 0.29	0.69 ± 0.08	0.54 ± 0.07	0.36 ± 0.05
NGC 4536	O	1.33 ± 0.02	...	0.56 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.35 ± 0.02	2.86 ± 0.06	1.27 ± 0.03	0.55 ± 0.01	0.45 ± 0.01
NGC 4536 ^a	C	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.02	0.20 ± 0.05	0.22 ± 0.07	0.17 ± 0.11
NGC 4639	A	0.23 ± 0.02	...	0.45 ± 0.02	1.00 ± 0.02	0.20 ± 0.02	2.86 ± 0.06	0.94 ± 0.02	0.41 ± 0.04	0.30 ± 0.01
NGC 4639	B	0.21 ± 0.06	...	...	1.00 ± 0.05	0.27 ± 0.08	2.86 ± 0.23	1.04 ± 0.09	0.30 ± 0.05	0.24 ± 0.04
NGC 4639	C	0.45 ± 0.07	...	...	1.00 ± 0.07	1.18 ± 0.16	2.86 ± 0.28	0.90 ± 0.10	...	...
NGC 5005	A	0.46 ± 0.01	0.51 ± 0.07	0.44 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.10 ± 0.03	2.86 ± 0.05	0.75 ± 0.02	0.32 ± 0.01	0.23 ± 0.01
NGC 5005	B	0.78 ± 0.02	0.99 ± 0.10	0.44 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.15 ± 0.02	2.86 ± 0.06	1.00 ± 0.02	0.35 ± 0.01	0.26 ± 0.01
NGC 5468	A	0.04 ± 0.01	...	0.37 ± 0.02	1.00 ± 0.01	0.14 ± 0.02	2.86 ± 0.05	1.06 ± 0.02	0.47 ± 0.01	0.38 ± 0.01
NGC 5468	B	0.00 ± 0.01	1.93 ± 0.03	0.43 ± 0.01	1.00 ± 0.01	2.25 ± 0.03	2.86 ± 0.03	0.31 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.26 ± 0.01
NGC 5468	C	0.07 ± 0.01	1.84 ± 0.05	0.45 ± 0.01	1.00 ± 0.01	1.41 ± 0.02	2.86 ± 0.03	0.45 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.29 ± 0.01
NGC 5584	A	0.07 ± 0.04	...	...	1.00 ± 0.04	0.44 ± 0.04	2.86 ± 0.16	0.69 ± 0.04	0.51 ± 0.03	0.29 ± 0.02
NGC 5584	B	0.24 ± 0.09	...	...	1.00 ± 0.09	0.46 ± 0.10	2.86 ± 0.37	0.68 ± 0.09	...	...
NGC 5584	C	0.31 ± 0.12	...	...	1.00 ± 0.12	0.90 ± 0.17	2.86 ± 0.48	0.57 ± 0.10	0.47 ± 0.09	0.35 ± 0.07
NGC 5584	O	0.15 ± 0.08	...	...	1.00 ± 0.08	0.19 ± 0.06	2.86 ± 0.33	0.92 ± 0.11	0.56 ± 0.07	0.41 ± 0.06
UGC 00272	A	0.18 ± 0.04	...	0.53 ± 0.08	1.00 ± 0.04	0.84 ± 0.08	2.86 ± 0.18	0.88 ± 0.06	0.80 ± 0.05	0.62 ± 0.04
UGC 00272	C	0.04 ± 0.05	...	...	1.00 ± 0.05	0.69 ± 0.07	2.86 ± 0.21	0.59 ± 0.06	0.71 ± 0.06	0.48 ± 0.04
UGC 00272	D	1.30 ± 0.13	...	0.83 ± 0.23	1.00 ± 0.12	1.50 ± 0.28	2.86 ± 0.51	0.50 ± 0.11	0.64 ± 0.12	0.46 ± 0.09
UGC 00272	F	0.00 ± 0.08	...	...	1.00 ± 0.07	1.50 ± 0.18	2.86 ± 0.31	0.35 ± 0.06	0.60 ± 0.09	0.49 ± 0.08
UGC 03218 ^a	A	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.03	0.40 ± 0.09	...	...
UGC 03218 ^a	B	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.03	0.39 ± 0.06	0.30 ± 0.12	0.20 ± 0.18
UGC 03218 ^a	O	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.01	0.37 ± 0.03	0.14 ± 0.05	0.09 ± 0.06
UGC 03576 ^a	A	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.02	0.39 ± 0.05	0.20 ± 0.09	0.15 ± 0.10
UGC 03576 ^a	C	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.03	0.47 ± 0.03	...	...
UGC 03576 ^a	D	...	...	...	...	...	1.00 ± 0.04	0.39 ± 0.09	...	...
UGC 03845	A	0.39 ± 0.04	...	...	1.00 ± 0.04	0.30 ± 0.05	2.86 ± 0.18	0.99 ± 0.06	0.59 ± 0.04	0.45 ± 0.03
UGC 03845	B	0.33 ± 0.01	3.23 ± 0.10	0.03 ± 0.01	1.00 ± 0.03	0.11 ± 0.02	2.86 ± 0.09	0.53 ± 0.01	0.49 ± 0.01	0.36 ± 0.01
UGC 04195	A	0.42 ± 0.05	...	0.40 ± 0.07	1.00 ± 0.05	0.34 ± 0.06	2.86 ± 0.22	1.48 ± 0.11	0.40 ± 0.03	0.38 ± 0.03
UGC 09391	A	0.41 ± 0.03	0.72 ± 0.12	0.31 ± 0.04	1.00 ± 0.03	2.55 ± 0.10	2.86 ± 0.11	0.24 ± 0.01	0.41 ± 0.03	0.28 ± 0.02
UGC 09391	B	0.63 ± 0.09	2.23 ± 0.49	...	1.00 ± 0.09	0.93 ± 0.14	2.86 ± 0.36	0.32 ± 0.05	0.50 ± 0.07	0.36 ± 0.05

Continúa en la siguiente página

Tabla B.1: continuación

Galaxy	Región	$c(\text{H}\beta)$	$I([\text{O II}])$ $\lambda 3727$	$I(\text{H}\gamma)$ $\lambda 4340$	$I(\text{H}\beta)$ $\lambda 4861$	$I([\text{O III}])$ $\lambda 5007$	$I(\text{H}\alpha)$ $\lambda 6563$	$I([\text{N II}])$ $\lambda 6584$	$I([\text{S II}])$ $\lambda 6717$	$I([\text{S III}])$ $\lambda 6731$
UGC 09391	C	0.37 ± 0.08	1.69 ± 0.36	...	1.00 ± 0.08	1.00 ± 0.13	2.86 ± 0.32	0.57 ± 0.07	0.61 ± 0.07	0.44 ± 0.06
UGC 09391	D	0.72 ± 0.21	9.46 ± 2.96	...	1.00 ± 0.21	1.52 ± 0.47	2.86 ± 0.84	0.42 ± 0.13	0.75 ± 0.22	0.53 ± 0.16
UGCA 017	A	0.60 ± 0.07	...	...	1.00 ± 0.07	2.38 ± 0.24	2.86 ± 0.27	0.29 ± 0.04	0.30 ± 0.04	0.21 ± 0.03
UGCA 017	B	0.45 ± 0.04	1.11 ± 0.21	0.30 ± 0.04	1.00 ± 0.04	1.37 ± 0.09	2.86 ± 0.17	0.39 ± 0.02	0.50 ± 0.03	0.36 ± 0.02
UGCA 017	C	0.49 ± 0.04	2.22 ± 0.49	0.39 ± 0.06	1.00 ± 0.04	1.03 ± 0.07	2.86 ± 0.16	0.67 ± 0.04	0.72 ± 0.04	0.53 ± 0.03
UGCA 017	D	0.40 ± 0.02	1.53 ± 0.12	0.36 ± 0.03	1.00 ± 0.02	0.93 ± 0.03	2.86 ± 0.08	0.66 ± 0.02	0.54 ± 0.02	0.38 ± 0.01
UGCA 017	E	0.70 ± 0.07	5.89 ± 0.65	...	1.00 ± 0.07	2.04 ± 0.21	2.86 ± 0.29	0.47 ± 0.05	0.60 ± 0.07	0.43 ± 0.05

^aDebido a la falta de $\text{H}\beta$, estas intensidades son respecto a $I(\text{H}\alpha)$.

Apéndice C

Líneas de emisión de los espectros de SDSS, abundancias y parámetros

Las intensidades de las líneas de emisión se muestran en la Tabla C.1, que para cada galaxia (etiquetada por el nombre de la SN Ia que alberga en la columna 1) muestra en la columna 2 la naturaleza de la emisión con los símbolos SF, C y A para definir Star Forming, composite o AGNs, respectivamente. Las intensidades corregidas de $\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$, $\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$, $\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$ y $\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$, en unidades de $I(\text{H}\beta) = 100$, con sus errores, se muestran en las columnas 3 a 10. Se proporcionan para cada galaxia la línea observada, $I(\lambda)$, y la corregida por enrojecimiento de la galaxia anfitriona, $I_0(\lambda)$. Además, $\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$, $\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$, $\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$ en unidades de $I(\text{H}\alpha) = 100$, con sus errores, se incluyen en las columnas 11 a 13. Las columnas 14, 15 y 16 muestran las anchuras equivalentes en Å de las líneas de emisión de $\text{H}\alpha$, $\text{H}\beta$, y $\text{H}\gamma$ respectivamente. Dos puntos indican una incertidumbre mayor al 40 %.

La Tabla C.5 recoge los parámetros determinados con SiFTO para las galaxias de SDSS y Union2.1.

Tabla C.1: Ratios de intensidad de las líneas con respecto a $I(\text{H}\beta)=100$ ó $I(\text{H}\alpha)=100$ corregidas de enrojecimiento. Dos puntos tras la medida indica que el error en la medición de la línea es mayor que el 40 %. Aquellas líneas que no han sido medidas se corresponden con los puntos suspensivos.

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$			$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
5	SF	130±0	141±0	...	...	23±10	22±11	368±28	304±32	43±3	18±3	13±2	...	-4.8±0.5	-14.0±0.3	
10	SF	321±0	418±0	42±3	46±5	262±4	254±4	387±5	285±5	9.5±0.7	18.5±0.5	14.3±0.5	-7.2±0.6	-13.0±0.2	-60.9±0.3	
30	SF	136±3	256±7	32±1	46±2	42±1	39±1	545±5	299±4	36.6±0.4	16.8±0.4	12.7±0.4	-4.47±0.18	-12.85±0.18	-69.8±0.2	
83	SF	285±64	319±86	...	...	69±15	68±17	425±44	294±42	33±3	27±2	21±2	...	-3.0±0.4	-10.4±0.4	
128	SF	346±0	440±0	44±3	46±4	258±6	251±7	376±9	288±9	16.7±1.5	20.5±1.1	11.3±1.1	-7.5±0.5	-16.4±0.5	-73.0±0.8	
133	SF	96±0	155±0	...	...	18±9	17±9	549±22	306±17	34.2±1.1	14.5±1.4	10.5±1.2	...	-5.5±0.3	-22.3±0.4	
171	SF	311±0	391±0	...	...	118:	115:	381±14	290±15	23.0±1.7	21.6±1.9	17.0±1.3	...	-9.3±0.5	-35.7±0.6	
172	SF	288±0	377±0	...	...	131:	127:	416±26	290±25	23±3	21±2	11±2	...	-10.2±0.8	-36.2±1.2	
194	SF	108±0	166±0	...	...	29±9	27±10	533±22	301±17	35.9±1.5	17.3±2.0	11.5±1.9	...	-4.1±0.2	-19.0±0.3	
247	SF	141±0	196±0	...	...	24±5	23±6	566±73	304±53	45±4	...	...	...	-2.8±0.5	-13.1±0.5	
703	SF	283±24	337±32	28±7	46±19	75±11	74±12	351±28	291±32	24±3	22±2	15±4	-1.7±0.5	-15.1±1.6	-32.1±1.1	
744	C	215±0	410±0	...	...	52±14	48±14	753±100	299±54	48±5	29±2	23±4	...	-2.9±0.5	-17.4±0.9	
859	SF	235±33	305±48	34±4	46±9	81±16	78±18	375±46	292±50	26±2	15±3	16±4	-4.1±0.3	-45.6±1.9		
911	SF	248±22	328±35	34±6	46±12	116:	113:	425±31	290±29	22±2	29±2	18±2	-3.9±0.7	-9.2±0.9	-42.7±1.2	
986	SF	264±0	386±0	...	...	99±17	94±18	474±61	291±51	25±3	...	...	...	-6.6±1.1	-31.8±1.6	
1119	C	201±10	237±13	30±4	46±10	668±29655±31	396±18	293±19	49.1±2.0	19.1±1.1	18.2±1.1	...	-5.7±0.9	-17.3±1.0	-58.5±1.1	
1241	C	152±35	267±69	...	...	64±29	60±30	635±77	299±50	60±6	23±5	16±4	...	-2.5±0.3	-9.0±0.7	
1354	SF	180±8	309±16	...	...	68±3	63±3	523±17	294±13	33.2±0.9	16.6±1.3	15.2±1.3	...	-10.4±0.5	-42.7±0.3	
1403	SF	215±27	252±32	...	...	200:	197:	318±41	289±52	17:	...	...	...	-18±3	-84±4	
1457	A	...	...	...	...	681:	...	1098±140	...	91±6	22±2	17±2	...	-3.4±0.6	-36.2±1.7	
1580	A	...	...	22±3	...	254±9	...	728±19	...	77.0±1.8	20.0±1.7	17.4±1.6	-1.8±0.2	-8.0±0.3	-47.6±0.4	
1688	SF	222±13	311±19	...	...	74±6	71±6	408±26	293±26	31.8±1.9	20.5±1.5	18.3±1.7	...	-13.1±0.8	-45±2	
1750	SF	183±29	280±52	...	...	42±9	40±9	503±71	298±57	34±7	20±3	16±6	...	-8.1±1.5	-33.2±1.3	
1794	SF	398±0	557±0	...	...	209:	201:	439±29	286±27	11±2	25±3	23±3	...	-7.4±0.6	-31.0±0.9	
1991	SF	344±31	405±40	27±6	46±15	147:	145:	390±31	291±32	24±2	...	...	-2.8±0.6	-11.4±1.2	-42.7±1.2	
2017	SF	134±31	224±53	33±1245±24	...	41±10	38±11	578±50	299±36	40±3	...	...	-2.7±0.9	-3.6±0.4	-17.4±0.5	
2078	C	270±60	307±75	...	...	80±37	79±41	382±79	296±83	49±10	...	...	...	-5.5±1.5	-31±2	
2081	SF	258±0	385±0	35±3	46±6	127:	121:	437±10	290±9	20.7±0.5	21.4±1.2	16.4±1.5	-4.6±0.4	-12.4±0.4	-66.0±0.3	
2149	SF	47±14	50±17	...	...	30±26	30±29	364±69	303±78	50±7	40±16	14:	...	-4.2±1.0	-12.5±1.2	
2235	SF	174±12	480±37	...	...	88±7	78±7	788±44	293±23	32±2	19±2	15.9±1.3	...	-15.6±1.1	-97±2	
2347	A	...	...	...	...	603:	...	667±130	...	102±34	...	...	...	-2.1±0.4	-12.2±1.9	
2372	SF	100±28	115±35	...	...	48±12	47±14	390±61	299±63	41±5	...	...	...	-3.9±0.8	-10.1±0.4	
2440	SF	196±4	301±8	24±2	46±5	65±2	62±2	483±7	293±6	29.4±0.6	22.0±0.7	14.6±0.6	-3.5±0.3	-16.6±0.3	-69.3±0.4	
2551	SF	591±0	1349±0	...	...	233:	211:	690±71	287±40	14±2	...	...	...	-7.3±1.0	-59.0±1.1	
2561	SF	209±58	256±82	...	...	47±6	46±7	430±34	299±33	44±2	27±3	23±3	...	-2.9±0.3	-6.2±0.2	
2784	SF	220±20	303±30	...	...	68±12	66±13	400±33	294±33	34±3	...	...	...	-14.8±1.6	-43.7±1.5	
2992	C	197±66	294±108	...	...	86±17	82±18	539±46	295±35	38±3	...	...	...	-2.7±0.3	-11.4±0.3	
3087	SF	351±33	398±42	34±7	46±13	162:	160:	337±26	286±31	11±2	20±4	20±3	-4.1±0.8	-28±2	-110±3	

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$	$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
3150	SF	174±30	202±37	...	...	41±5	41±6	349±22	298±27	30.7±1.1	...	...	-11.1±0.9	-41.2±1.0
3175	SF	221±37	274±50	...	...	318:	310:	349±38	286±43	10:	20±6	...	-73±10	-139±7
3225	C	84±8	149±17	...	...	23±10	22±10	558±26	306±20	59±2	7.4±1.0	...	-7.3±0.5	-25.9±0.4
3256	SF	213±12	272±16	29±4	45±9	45±4	43±4	409±13	299±13	37.1±1.3	20.1±0.9	15.0±1.0	-2.3±0.3	-28.9±0.4
3331	SF	113±17	215±37	...	...	32±8	30±9	628±35	303±24	48±3	16±2	11.6±1.8	...	-19.6±0.7
3368	SF	133±13	202±22	35±11	47±21	237:	226:	418±29	283±27	4.5±1.1	9.5±2.0	12±3	-10.8±3.2	-149±2
3426	A	...	...	...	...	277:	...	1534±234	...	105±6	20±2	22±2	...	-15.1±0.7
3475	SF	219±0	317±0	38±2	46±3	92±2	88±2	414±7	293±7	31.3±0.5	17.5±0.5	11.1±0.4	-6.5±0.3	-70.8±0.3
3527	SF	164±21	290±42	...	...	59±9	55±9	557±55	297±40	38±6	...	...	-11.4±1.2	-70±4
3592	C	162±20	250±36	...	...	41±8	39±9	568±44	303±32	67±2	17.5±2.0	12.9±1.6	...	-15.6±0.4
3780	SF	212±23	285±35	35±12	46±24	81±15	78±17	405±39	295±39	39±4	25±4	11±3	-2.5±0.8	-30.7±1.2
3825	C	134±24	244±49	...	...	168:	156:	581±69	294±48	44±3	...	...	...	-25.2±0.8
3881	C	155±13	257±24	...	...	82±13	77±14	546±27	297±21	58.7±2.0	15.7±1.9	13.2±1.8	...	-19.7±0.3
3901	SF	299±0	411±0	43±2	46±3	189±2	182±3	416±6	288±5	16.3±0.5	17.7±0.5	13.0±0.4	-4.8±0.3	-39.25±0.19
3945	SF	287±48	324±65	...	...	84±23	83±25	406±49	294±49	33±7	...	...	-6.4±1.0	-73±3
3975	SF	160±51	241±92	...	...	43±11	41±12	627±91	300±60	46±4	...	...	-2.2±0.4	-10.6±0.6
3983	SF	270±41	312±55	...	...	192:	189:	354±50	288±55	14±5	...	...	...	-69±3
4019	C	145±37	233±65	...	...	40±15	38±16	575±97	301±69	49±12	...	...	...	-12.7±0.7
4046	SF	113±11	246±28	...	...	44±6	40±6	685±46	300±28	47.5±1.7	19.6±1.2	13.4±1.2	...	-34.7±0.7
4181	SF	158±14	235±23	...	...	44±9	42±10	457±32	299±29	38±2	21.0±1.2	12.5±1.4	...	-41.0±0.9
4236	SF	133±13	235±25	...	...	46±8	43±9	516±36	298±29	35.0±1.9	14.0±1.5	11.3±1.0	...	-34.7±0.9
4311	SF	150±15	234±24	...	...	44±13	42±14	458±40	298±36	37±2	15±2	11±2	...	-24.0±0.6
4547	C	92±16	133±26	...	...	21±9	20±10	508±58	310±48	91±6	24±2	14±3	...	-28.3±0.8
4612	SF	411±0	448±0	...	...	178:	176:	331±23	287±28	11±2	...	...	...	-36.9±1.1
4682	SF	271±52	307±66	...	...	76±24	75±26	329±56	294±67	32±7	...	...	...	-29.0±1.2
4969	C	124±14	193±23	...	...	31±8	30±9	490±34	304±30	56±3	...	...	...	-22.7±0.6
5103	SF	333±17	488±29	33±3	46±6	214±11	205±11	425±19	286±18	10.0±1.8	...	...	-5.7±0.5	-94.9±1.8
5199	SF	304±29	346±41	35±7	46±14	108:	107:	380±30	290±31	21±3	29±2	21±2	...	-43.0±1.5
5230	SF	161±11	286±23	33±4	46±9	45±7	42±7	512±24	297±20	31.6±1.7	...	...	-3.5±0.5	-60.4±1.0
5486	SF	234±25	308±36	...	...	72±11	69±12	401±39	293±40	32±3	27.9±1.9	24±2	...	-27.4±0.8
5533	SF	420±69	447±81	36±6	46±11	120:	119:	325±52	292±64	28±10	21±2	13±2	-3.0±0.3	-32.5±1.8
5549	SF	292±63	407±104	24±7	47±20	200:	192:	428±84	286±76	09:	24±2	15±2	-2.2±0.5	-55±2
5550	SF	301±16	440±27	36±4	46±7	185±8	177±9	425±17	288±16	15.5±1.8	19.3±1.3	11.2±1.3	-5.3±0.6	-73.3±1.2
5751	SF	116±33	177±60	...	...	20±11	19±11	584±68	308±49	51±3	10.8±1.8	11.5±1.5	...	-16.6±0.5
5802	SF	315±77	348±98	...	...	129:	128:	332±64	291±76	20:	...	...	...	-26.1±2.0
5859	SF	120±12	244±26	23±5	46±17	48±11	44±11	636±36	298±23	39.0±2.0	15±2	9.8±1.3	-1.7±0.4	-32.9±0.7
5869	SF	188±9	330±18	...	...	46±5	43±5	554±15	297±11	31.7±0.7	20.8±1.0	14.5±0.8	...	-43.0±0.3
5890	C	155±23	207±34	...	...	36±18	35±19	451±57	302±52	56±4	21±4	17±4	...	-14.6±0.6
5909	SF	142±22	194±32	...	...	36±22	35±24	384±42	298±44	31±3	17±2	10±2	...	-30.4±1.4
5957	SF	151±14	283±28	...	...	57±25	53±26	601±44	297±30	39±2	12.3±1.3	12.6±1.8	...	-26.9±0.7
5963	SF	228±33	307±49	...	...	70±23	67±25	451±60	294±53	33±4	...	...	...	-23.2±1.3
6057	SF	199±21	278±31	28±4	45±10	40±5	39±5	448±17	299±16	34.5±1.6	18.4±0.6	13.7±0.6	-2.3±0.3	-33.7±0.5
6127	SF	278±16	337±23	27±3	46±7	154:	150:	381±19	288±20	16.7±1.5	10.6±0.8	8.0±1.0	-3.8±0.4	-68.7±1.2

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
6192	SF	273±34	339±48	27±7	46±17	132:	128:	375±40	289±43	19±5	...	...	-2.6±0.6	-26±3	-86±3
6216	SF	369±25	425±33	...	...	257±14	253±15	341±16	287±19	14±5	16±4	15±2	...	-14.8±0.9	-43.9±1.0
6249	SF	216±13	264±17	33±5	46±11	73±6	72±7	358±18	292±21	26±2	17±2	13±2	-4.0±0.6	-17.7±1.2	-54.2±1.1
6406	C	206±34	300±56	...	...	60±23	57±24	517±76	297±60	42±4	...	...	...	-3.4±0.5	-12.5±1.4
6422	SF	338±69	339±118	26:	46:	51±29	51±30	593±90	297±61	34±9	35±6	25:	-1.4±0.6	-3.2±0.6	-17.9±0.7
6479	A	...	...	...	...	524:	...	734±109	...	43±5	48±5	19±3	...	-2.3±0.4	-16.5±0.8
6491	C	266±33	571±78	...	...	103:	94:	889±64	298±29	76±2	14.3±1.3	13.8±1.4	...	-1.70±0.16	-13.1±0.3
6558	SF	214±0	346±0	...	...	73±4	69±5	523±15	293±12	32.5±1.0	26.0±0.8	19.2±0.7	...	-5.2±0.2	-21.1±0.2
6560	SF	244±19	303±26	41±5	46±8	266:	260:	352±26	287±30	15±3	15.7±1.6	10.3±1.9	-5.9±0.6	-18.6±1.7	-54±2
6831	SF	164±21	203±28	24±4	46±12	28±9	27±9	376±22	302±25	35±3	24±4	14±2	-1.6±0.3	-13.5±1.0	-22.6±0.7
6936	SF	168±29	213±38	...	...	41±19	39±21	380±56	298±59	34±5	19±2	11±2	...	-6.0±1.2	-18.6±0.8
7143	SF	195±63	249±101	...	...	34±8	33±9	493±96	300±78	39±8	...	...	...	-4.4±1.1	-16.4±1.4
7243	SF	296±25	350±33	32±4	46±9	273:	268:	349±25	284±28	6.2±1.9	18±2	10±2	-3.6±0.5	-20.1±1.8	-80±2
7365	SF	210±22	330±37	...	...	94±19	89±20	470±43	291±36	26±2	...	...	...	-9.7±1.2	-42.5±1.4
7373	SF	134±7	188±11	32±3	46±7	39±6	38±6	437±16	300±16	42.0±1.5	14.1±1.0	12.4±1.1	-3.2±0.3	-10.2±0.5	-36.9±0.5
7444	SF	210±33	258±41	...	...	83±23	81±25	330±46	293±56	32±5	...	...	...	-15±2	-26.7±1.7
7460	SF	149±20	208±30	...	...	38±27	37±29	443±32	298±30	36±3	14±3	11±3	...	-5.4±0.5	-19.1±0.6
7644	SF	244±11	305±14	31±3	46±8	111:	108:	369±17	292±18	27.4±1.8	21.1±1.5	19.3±1.7	-4.8±0.6	-23.2±1.3	-75.7±1.5
7647	C	148±26	184±35	...	...	62±12	60±13	378±52	297±56	44±5	...	...	...	-15±2	-42.6±1.4
7701	SF	173±8	304±17	30±6	46±14	60±5	56±5	531±17	294±13	33.7±1.3	16.1±1.0	12.2±1.0	-4.8±1.0	-16.2±0.7	-89.1±1.0
7835	SF	360±33	512±53	...	...	140:	134:	413±35	288±34	14.8±1.3	24±2	15.8±1.9	...	-17±2	-49.5±0.8
7847	C	60±14	64±17	...	...	22±7	21±8	338±46	308±57	68±7	26±6	20±6	...	-7.8±1.3	-10.8±0.8
7857	SF	263±0	378±0	...	...	111:	107:	422±26	290±25	22±3	24.0±1.6	20±2	...	-12.6±0.9	-45.0±1.6
7876	SF	188±18	252±27	...	...	46±10	44±11	428±24	300±23	45±2	20.9±1.8	18±2	...	-6.0±0.4	-20.5±0.5
7919	SF	190±19	381±46	...	...	74±12	68±12	683±60	293±36	28±5	...	...	...	-5.2±0.5	-31.9±1.5
8128	SF	249±23	332±35	22±4	46±11	100±13	97±14	419±37	291±36	24.5±2.0	...	...	-2.9±0.4	-22±2	-101±4
8151	SF	...	...	...	...	105:	104:	418±23	292±22	29±2	29±2	25±2	...	-2.63±0.18	-10.1±0.3
8254	SF	316±23	346±28	36±5	46±9	206:	204:	341±21	290±25	22±5	22±3	13±2	-3.1±0.4	-9.6±0.8	-37.8±1.0
8495	C	188±24	249±37	...	...	41±17	40±18	497±50	303±42	63±4	31±3	20±4	...	-3.1±0.4	-11.5±0.4
8555	SF	143±0	172±0	...	...	30±5	30±5	387±14	300±15	34±2	19±2	15±2	...	-11.7±0.4	-46.5±1.1
8598	SF	193±20	231±27	...	...	119:	116:	349±32	293±37	32±2	...	...	...	-33±4	-47.8±1.4
8651	C	299±0	417±0	...	...	153:	147:	486±67	292±55	24:	...	...	...	-6.9±1.0	-36±3
8700	SF	151±32	210±41	...	...	55±31	53±34	356±89	297±99	42±7	...	...	...	-12±4	-38±3
8705	SF	240±46	302±54	...	...	93±27	90±30	322±69	293±84	29±8	...	...	...	-12±3	-23.9±1.8
8719	SF	217±8	278±11	32±2	46±5	280±5	272±6	380±7	283±8	5.3±0.8	12.8±0.6	12.0±0.8	-9.6±0.7	-38.7±1.0	-147.8±1.3
8742	SF	247±26	364±45	...	...	102:	98:	485±38	291±32	24±4	23±2	20±2	...	-6.8±0.7	-24.6±1.0
8921	SF	241±21	314±33	17±2	46±10	59±7	57±8	475±27	293±23	30±2	22.3±1.7	15.9±1.5	-1.17±0.17	-7.1±0.5	-24.9±0.5
9045	C	208±51	266±76	...	...	54±18	52±20	468±66	298±57	43±5	...	...	...	-3.8±0.7	-16.6±0.7
9133	C	125±0	192±0	...	...	32±26	30±28	486±50	302±43	49±2	...	...	...	-5.6±0.8	-25.4±0.7
9155	SF	189±40	283±65	...	...	57±26	54±28	493±56	298±46	39±5	...	...	...	-4.8±0.7	-23.2±1.0
9817	A	...	...	...	...	565:	...	647±81	...	68±4	26±3	22±2	...	-4.4±0.7	-25.6±1.1
9962	SF	150±25	321±64	...	...	44±25	40±25	831±100	299±49	36±3	...	...	...	-3.1±0.5	-22.6±0.7
10096	SF	274±0	364±0	...	...	76±6	73±6	433±13	293±12	32.6±1.2	25.5±1.7	21.7±1.5	...	-6.1±0.2	-20.2±0.2

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	[O II] λ3727 Hβ		Hγ Hβ		[O III] λ5007 Hβ		Hα Hβ		[N II] λ6583 Hα	[S II] λ6716 Hα	[S II] λ6731 Hα	W(Hγ)	W(Hβ)	W(Hα)
		I	I ₀	I	I ₀	I	I ₀	I	I ₀	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
10299	SF	371±37	466±51	26±6	46±15	195:	189:	428±43	287±40	12±3	...	...	-3.5±0.7	-11.8±1.4	-40±2
10449	SF	287±0	380±0	...	...	130:	126:	417±42	289±40	19.2±1.9	...	...	...	-7.0±1.0	-36.5±0.7
10550	SF	169±14	218±19	26±3	46±10	42±9	41±10	412±26	298±26	34±2	23±2	19±3	-2.4±0.3	-10.5±0.9	-38.8±0.9
10559	A	...	...	...	...	473:	...	412±26	298±26	26±3	...	...	...	-8±6	-14.9±1.6
10805	SF	197±0	353±0	33±1	46±3	59±1	55±1	516±4	293±3	30.6±0.2	20.9±0.3	15.4±0.3	-3.94±0.18	-10.21±0.13	-42.20±0.09
11026	SF	262±0	337±0	...	...	190:	184:	404±60	289±59	20±4	...	...	...	-3.0±0.6	-11.4±0.6
11067	SF	313±0	283±0	...	...	128:	130:	298±31	291±41	24±5	...	...	...	-4.8±0.6	-14.4±0.7
11172	SF	253±0	353±0	...	...	103:	99:	423±8	292±8	27.9±0.5	21.7±0.8	15.8±0.6	...	-10.3±0.3	-45.6±0.2
11300	SF	428±0	429±0	...	...	96:	96:	364±50	291±55	27±9	...	...	...	-4.2±0.7	-11.0±0.7
11311	C	219±0	339±0	...	...	149:	141:	626±105	297±68	65±6	...	...	...	-2.9±0.7	-15.1±0.7
11858	SF	250±11	369±20	...	...	64±3	61±4	453±16	293±15	29±2	24.4±1.2	15.1±1.2	...	-14.1±0.6	-67.7±1.2
12199	SF	83±0	178±0	...	...	24±13	22±13	784±83	305±44	44±2	...	...	...	-4.2±0.6	-23.8±0.5
12780	SF	153:	204:	...	...	31±15	30±16	634±101	304±66	51±3	14±4	9.2±1.7	...	-1.4±0.3	-6.6±0.2
12804	SF	354±13	405±16	35±4	46±8	165±5	162±6	379±10	289±10	18.7±0.6	25.9±1.1	17.8±1.1	-3.4±0.4	-8.2±0.3	-39.4±0.4
12841	C	193±0	231±0	...	...	94±27	92±30	401±61	297±62	59±18	...	...	...	-5.1±1.0	-21.4±1.3
12856	SF	240±41	317±60	26±6	46±15	73±27	71±30	429±44	292±41	28±8	...	...	-1.2±0.3	-5.4±0.6	-18.5±1.3
12860	SF	167±24	295±51	...	...	27±6	25±6	601±45	303±32	41.6±1.9	20.0±1.9	14.7±1.8	...	-5.8±0.6	-19.6±0.4
12879	SF	255±27	317±37	...	...	213:	207:	351±47	287±53	12±2	20±3	9±2	...	-41±5	-43±4
12881	SF	146±25	178±32	...	...	30±6	30±6	352±56	301±65	41±11	...	...	...	-12±2	-22.9±1.9
12927	SF	104±0	148±0	...	...	59±24	57±26	459±32	298±29	44±3	19±2	14±3	...	-5.5±0.5	-19.0±0.6
12930	SF	77±23	80±27	...	...	24±6	24±7	358±11	304±13	43±3	19±5	11.5±1.6	...	-4.28±0.11	-12.6±0.3
12950	SF	381±0	381±0	30±3	46±6	101:	101:	339±9	291±11	25.7±0.6	26.5±0.8	16.1±1.1	-2.7±0.3	-10.7±0.4	-39.6±0.2
12977	SF	404±32	448±39	30±6	46±13	164:	162:	327±23	289±29	18±3	...	...	-3.6±0.7	-22±2	-70.0±1.8
12983	SF	136±0	211±0	...	...	35±5	33±5	520±24	300±19	38.3±1.2	17.8±1.2	14.6±1.7	...	-7.0±0.4	-43.8±0.5
13005	C	260±0	369±0	...	...	93:	89:	505±50	294±40	37±4	...	...	...	-4.2±0.5	-14.1±0.5
13025	SF	96±11	97±12	22±5	45±16	12±3	12±3	382±26	309±29	36±2	14±2	14.5±2.0	-1.5±0.4	-6.9±0.6	-19.0±0.5
13044	SF	292±35	300±39	...	...	66±11	66±12	318±26	294±33	35±3	27±3	18±3	...	-7.1±0.6	-15.9±0.9
13051	SF	186±6	313±13	...	...	71±3	66±3	508±15	293±12	32.3±1.6	21.2±0.8	12.4±0.8	...	-17.1±0.6	-95.4±1.6
13070	SF	237±0	279±0	...	...	43±12	42±13	426±35	299±34	36±2	26±3	26±4	...	-4.7±0.5	-21.3±0.7
13072	SF	170±1	240±3	39±0	0±0	274±1	263±2	396±2	282±2	18.8±0.2	8.4±0.3	7.2±0.3	-13.0±0.3	-38.8±0.4	-179.6±0.7
13099	SF	96±16	97±18	17±5	45±19	36±13	36±15	387±36	301±39	42±6	...	...	-1.2±0.3	-7.0±0.9	-20.6±0.5
13108	A	...	...	...	...	832:	...	386±67	...	65±14	29±6	33±11	...	-3.1±0.6	-11.6±1.2
13152	SF	310±22	402±32	34±6	46±12	214:	207:	386±21	287±22	13±2	17.4±1.4	17±2	-5.1±0.9	-18.3±1.3	-60.2±1.6
13174	A	...	...	...	...	354:	...	2303±604	...	87±5	21±2	19±4	...	-0.9±0.3	-11.6±0.8
13254	SF	206±0	227±0	...	...	43±4	43±4	357±12	298±14	35.9±1.6	22.5±1.3	18.7±1.5	...	-8.7±0.4	-28.6±0.3
13305	SF	263±11	312±15	26±3	46±8	131:	128:	372±15	290±16	22±2	24.4±1.1	16.3±1.2	-3.0±0.4	-17.5±0.8	-42.3±1.1
13323	SF	312±21	385±32	30±4	46±9	86±9	84±9	417±22	291±21	24.8±0.9	18.3±1.2	13.9±1.1	-2.9±0.4	-9.5±0.7	-41.6±0.5
13334	SF	105±23	134±34	...	...	22±7	21±8	409±52	302±53	35±6	...	...	...	-13±2	-28.5±1.5
13344	C	146±0	264±0	...	...	58±10	54±10	608±45	298±31	52±2	15±2	15±2	...	-5.6±0.6	-26.6±0.5
13354	SF	191±11	272±17	24±3	45±11	54±6	51±6	467±17	298±15	39.9±0.9	17.1±1.7	14.6±1.8	-2.6±0.4	-11.3±0.6	-46.6±0.5
13357	SF	220±30	269±42	44±17	46±27	55±24	54±26	441±52	294±48	38:	...	...	-4.4±1.7	-3.3±0.4	-24±2
13460	SF	297±80	440±124	34±13	46±31	223:	213:	395±103	285±99	08:	...	...	-8.3±3.0	-98±35	-119±2
13465	SF	339±23	438±33	...	...	154:	150:	390±21	290±22	22±2	19.5±1.3	12.3±1.2	...	-14.0±1.0	-91.3±1.8

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
13476	SF	261±59	353±89	...	...	126:	122:	527±75	291±57	23±8	...	...	...	-2.5±0.3	-24±2
13477	SF	328±15	498±26	36±6	46±11	220±10	209±10	426±18	286±17	10±2	17.8±1.3	8.9±1.3	-3.8±0.6	-15.7±0.8	-74.2±1.6
13529	SF	231±0	192±0	...	...	108:	111:	246±33	287±53	13±4	...	...	...	-23±4	-34.7±1.8
13610	SF	191±0	309±0	...	...	77±3	72±3	475±11	293±10	32.9±0.9	16.8±1.6	13.2±1.1	...	-14.3±0.5	-79.7±0.7
13646	SF	295±21	451±36	37±5	46±9	138:	131:	433±31	291±29	24±3	33.3±1.8	13.7±1.8	-4.1±0.5	-12.7±1.1	-60.4±2.0
13689	SF	171±7	255±11	32±2	46±4	51±5	49±6	457±10	297±9	34.0±1.3	18.5±1.0	10.2±0.7	-3.05±0.18	-10.0±0.3	-44.4±0.3
13703	A	...	...	...	...	214:	...	1030±309	...	69±4	...	...	...	-1.4±0.6	-11.2±0.7
13727	SF	269±35	435±63	28±4	46±11	108:	102:	475±45	291±38	23±2	20±4	14±4	-1.7±0.2	-9.9±1.2	-34.2±1.4
13734	SF	248±32	307±39	25:	46:	72±14	70±15	302±39	293±52	32±7	...	...	-6.3±3.3	-1447±**	-48±4
13736	SF	342±54	352±66	...	...	102:	102:	380±43	290±45	25±5	...	...	...	-3.9±0.6	-15.4±0.6
13796	SF	285±97	299±123	...	...	65±38	65±41	578±151	296±102	35±5	13±2	15±3	...	-1.2±0.4	-12.4±0.4
13830	C	148±47	263±90	...	...	52±14	48±15	625±73	299±48	44±9	...	...	...	-2.9±0.4	-13.0±0.6
13835	SF	234±19	278±26	26±5	46±14	55±9	54±10	429±23	297±23	39±2	21±2	14±2	-1.6±0.3	-5.9±0.4	-23.9±0.3
13861	SF	252±89	326±125	...	...	163:	158:	395±111	289±107	19:	...	...	...	-10±3	-56±4
13896	SF	356±87	375±101	38±13	46±23	164:	163:	316±73	291±90	27±3	22:	22±7	-5.3±1.5	-28±8	-125±12
13897	SF	222±12	292±18	30±5	46±12	62±6	60±7	427±20	296±20	36.6±1.4	15:	13.0±1.0	-2.2±0.4	-7.6±0.5	-30.0±0.6
14050	SF	200±0	230±0	37±1	46±1	355±4	349±4	328±3	284±4	6.8±0.4	10.1±0.4	7.1±0.4	-17.1±0.5	-64.4±0.9	-233.4±0.9
14074	SF	330±27	448±41	38±4	46±7	208:	201:	395±30	287±30	13±5	19±4	15.2±1.9	-5.4±0.5	-11.9±1.2	-51.7±0.9
14113	C	120±47	252±98	...	...	50±16	46±17	675±99	299±59	44±3	11.0±1.3	14±4	...	-2.7±0.5	-11.2±0.4
14250	SF	243±37	300±65	28±5	46±11	66±23	64±24	488±75	294±63	35±4	17±4	12±2	-2.3±0.3	-6.1±0.9	-24±2
14311	SF	181±29	297±65	18:	46:	64±15	60±16	635±86	294±55	36:	...	...	-1.2±0.5	-5.3±0.9	-24.1±1.2
14318	A	...	...	...	...	564:	...	771±211	...	150±10	67±7	60±7	...	-0.42±0.16	-2.52±0.17
14331	SF	343±31	459±46	36±9	46±17	234:	226:	399±31	286±31	11±2	20:	10.1±1.9	-5.0±1.2	-11.7±1.2	-47.6±1.5
14343	SF	235±32	309±45	...	...	129:	125:	407±53	292±52	24±9	15±3	14±2	...	-6.3±1.0	-25.2±1.7
14377	SF	191±47	230±65	...	...	40±15	39±16	440±46	301±44	49±9	21±3	18±3	...	-3.8±0.5	-14.6±0.9
14397	SF	146±21	226±34	...	...	68±36	65±38	451±47	294±42	34±3	...	...	...	-6.4±0.8	-20.9±1.0
14481	A	...	...	...	...	417:	...	426±104	...	90±12	...	...	...	-1.7±0.6	-5.2±0.4
14500	SF	248±0	348±0	...	...	162:	156:	445±41	291±37	26±3	...	...	...	-10.2±1.3	-53.2±1.7
14522	SF	110±0	164±0	...	...	24±5	23±6	533±48	304±38	45±8	...	...	...	-5.1±0.5	-22.6±1.5
14524	SF	76±11	138±24	...	...	12±3	11±3	606±39	308±28	35±2	11±2	10.2±1.0	...	-7.9±0.7	-34.6±0.6
14525	SF	283±17	442±29	34±6	46±13	117:	111:	455±24	292±21	28.7±1.5	23.4±1.9	14.7±2.0	-4.5±0.9	-11.8±0.8	-48.5±0.8
14548	SF	178±11	269±19	30±5	46±11	56±6	53±7	458±22	297±20	34±2	10±2	9.9±1.2	-3.0±0.5	-11.9±0.8	-40.5±0.6
14554	SF	252±15	314±20	29±3	46±7	129:	126:	388±21	290±21	21±3	16.8±1.2	12.6±1.4	-3.0±0.3	-14.9±1.1	-67.1±0.8
14624	SF	157±41	241±69	...	...	37±12	35±12	567±92	301±66	42±15	...	...	...	-2.9±0.5	-17.2±1.8
14644	SF	202±22	311±41	...	...	47±7	45±7	496±110	292±87	29±5	...	...	...	-24±2	-67±13
14735	SF	191±31	290±54	...	...	51±13	48±14	498±76	297±61	35±4	20±4	18±6	...	-6.3±1.2	-29±2
14784	C	198±35	303±60	...	...	84±19	80±20	517±46	296±37	49±7	15±3	15±3	...	-3.8±0.5	-14.4±0.5
14826	SF	268±0	271±0	...	...	49±5	49±5	312±27	299±36	39.9±1.1	22.5±0.8	15.8±0.8	...	-8.6±1.0	-32.6±0.3
14846	SF	116±23	180±42	...	...	12±3	11±4	646±46	309±31	40.7±1.4	12.9±1.2	5.9±1.5	...	-2.2±0.2	-10.56±0.19
14876	A	...	...	46±4	...	305:	...	312±27	299±36	208:	190:	138:	0.00±0.00	-10.2±0.5	-16±**
14894	C	188±14	358±31	32:	46:	75±11	69±11	541±95	297±71	46±8	18:	11±4	-2.0±1.0	-12.4±1.2	-55±9
14965	SF	354±44	450±63	...	...	150:	146:	393±50	286±49	9±3	24±4	11±2	...	-9.9±1.6	-46±2
14972	SF	299±0	491±0	...	...	65±11	61±12	568±35	296±25	36.0±1.7	...	...	...	-5.0±0.4	-31.8±0.6

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$	$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
15006	SF	132±0	237±0	...	...	42±11	40±11	567±61	300±44	44±4	...	...	-6.6±0.9	-31.5±1.0
15057	SF	291±34	329±45	36±1246±22	...	248:	245:	348±36	285±41	9±2	...	...	-23±3	-169±4
15101	SF	293±22	375±32	...	...	89±8	86±8	402±21	291±21	25±2	24±2	17±2	-11.4±0.8	-41.5±0.7
15129	SF	157±28	254±54	...	...	45±14	42±14	637±138	299±87	44±15	...	...	-3.1±0.5	-16±3
15132	SF	343±18	449±26	35±4	46±8	277±11269±12	400±16	285±16	9.0±1.2	11.8±1.3	13±2	-3.5±0.5	-9.4±0.4	-49.6±1.1
15136	SF	81±6	118±10	32±2	45±5	24±3	23±4	458±10	304±9	43.7±1.1	14.1±0.6	11.1±0.8	-3.0±0.3	-37.0±0.2
15160	SF	158±23	264±38	...	...	68±15	64±16	486±59	294±49	37±5	...	...	-6.2±1.0	-23.2±0.5
15198	SF	265±55	337±84	...	...	67±13	65±14	419±67	292±64	28±5	...	...	-12.9±2.0	-53±6
15219	SF	169±22	243±37	...	...	24±8	23±8	551±47	306±36	50±2	...	...	-3.2±0.4	-13.3±0.5
15234	SF	...	...	...	...	14±4	13±5	559±54	308±41	44.2±1.9	...	...	-3.2±0.4	-14.9±0.3
15239	SF	181±46	343±106	...	...	67±23	62±24	744±110	293±59	32±4	...	...	-2.9±0.6	-20.9±0.9
15260	SF	203±54	311±103	...	...	66±19	63±20	615±114	297±74	38±9	20:	11:	-3.2±0.8	-17.3±0.7
15268	SF	280±31	304±38	28±4	46±11	178:	177:	392±40	288±41	16±4	14±2	10±2	-3.1±0.4	-9.9±1.3
15301	C	226±60	240±74	...	...	43±29	43±32	402±69	299±69	46±9	...	...	-3.3±0.8	-13.7±0.6
15303	SF	219±0	329±0	...	...	64±8	61±8	500±28	296±23	37.2±1.2	19.8±1.3	13.2±1.2	-6.9±0.5	-43.8±0.3
15324	SF	230±15	363±28	32±7	46±15	104:	99:	497±27	290±22	20.7±1.9	...	...	-5.7±1.3	-12.1±0.9
15347	A	...	...	...	...	460:	...	551±143	...	58±11	...	...	-2.0±0.6	-7.7±1.1
15351	SF	190±26	297±45	32±8	46±19	76±15	72±16	492±60	294±49	36±2	15±3	20±6	-3.1±0.8	-31.6±0.8
15359	SF	207±12	299±24	32±5	46±11	51±6	49±6	489±24	297±20	32±2	...	...	-4.9±0.8	-64.8±0.8
15365	A	...	...	...	...	133:	...	686±91	...	81±5	31±4	27±3	-1.9±0.3	-9.3±0.4
15421	SF	220±0	213±0	...	...	42±3	43±4	300±9	297±12	28.6±2.0	18.9±1.8	11±3	-13.2±0.5	-31.9±0.4
15423	SF	190±0	335±0	...	...	46±8	43±8	614±41	299±27	39.3±1.7	...	...	-4.9±0.4	-33.3±0.5
15443	SF	218±33	297±53	...	...	64±19	62±21	474±48	296±42	36±8	...	...	-6.0±0.7	-31.0±1.8
15454	SF	165±0	422±0	...	...	25±8	23±8	924±96	305±43	51±3	...	...	-4.3±0.6	-30.4±0.8
15459	SF	350±25	403±32	...	...	208±11204±12	363±17	288±19	15±5	14.7±2.0	14.8±1.7	...	-7.9±0.5	-54.9±1.4
15461	SF	150±48	183±70	...	...	28±6	27±7	548±82	303±62	52±12	...	...	-2.0±0.4	-11.6±0.4
15466	A	...	...	...	...	214:	...	588±84	...	68±3	26:	20±4	-3.0±0.6	-15.5±0.5
15467	SF	112±0	138±0	...	...	23±7	22±7	392±17	302±19	34±2	18.9±1.2	11.3±1.0	-10.3±0.6	-27.9±0.6
15503	C	228±0	480±0	...	...	83±9	76±9	688±67	295±40	47±8	...	...	-8.7±0.8	-58±4
15508	SF	323±39	335±47	...	...	73±19	73±21	435±28	293±27	30±4	...	...	-2.13±0.18	-14.1±0.4
15516	SF	353±0	365±0	...	...	122:	122:	315±43	291±55	24±8	...	...	-7.6±1.0	-30±3
15558	SF	272±9	329±12	40±2	46±4	320±9	312±10	346±10	285±12	10.1±1.8	19±4	11±2	-10.6±0.6	-32.8±1.2
15568	SF	89±0	104±0	...	...	11±5	11±5	449±35	310±33	38±3	10±2	13±2	-3.3±0.3	-10.9±0.3
15584	C	84±32	211±100	...	...	37±16	33±16	878±212	301±97	56±3	24±3	15±2	-6±2	-31.6±1.4
15587	C	214±27	267±38	32±1146±23	...	91±10	89±11	419±40	296±39	54±3	22±2	15.3±2.0	-2.8±0.9	-25.4±1.1
15704	C	140±33	271±61	...	...	89±26	82±27	571±111	295±77	36±5	...	...	-3.5±0.9	-14.7±0.8
15755	C	171±8	264±15	17±2	45±9	54±4	52±5	534±14	298±11	44±2	17.7±0.9	15.9±1.1	-1.8±0.2	-51.3±0.5
15779	SF	69±23	106±39	...	...	40±12	38±12	502±69	298±56	31±2	13:	14±3	-5.1±1.0	-19.3±0.5
15784	SF	246±24	274±30	40±7	46±11	51±7	51±8	344±27	296±33	30±2	23.2±1.8	14±2	-3.8±0.6	-45.9±0.8
15805	SF	139±14	219±22	20±5	46±21	33±8	31±8	500±31	302±26	40.7±1.8	17±2	12±2	-1.5±0.5	-31.0±0.4
15814	SF	266±13	345±19	21±2	46±6	146:	141:	432±22	288±20	17.2±1.3	22.6±1.7	19.0±1.9	-2.5±0.2	-13.9±0.8
15829	SF	184±17	282±29	36±1147±20	...	375:	356:	420±29	283±27	04:	10:	8.8±1.0	-11.4±3.3	-74±7
15868	SF	174±22	221±29	33±8	45±18	31±24	30±26	400±38	304±40	38±6	...	...	-2.8±0.7	-28.7±0.5

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$	$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$	$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$		
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]		
15872	SF	308±42	319±46	...	...	63±20	62±23	332±43	293±53	30±5	11±2	20±4	...	-5.9±0.9	-24.4±1.6
15874	SF	231±27	317±43	...	...	117:	113:	430±43	291±40	23±4	...	...	...	-10.0±1.3	-42.2±1.6
15892	C	155±16	311±37	...	...	62±23	57±24	696±45	298±27	43±2	18.6±1.6	17±2	...	-4.1±0.4	-27.2±0.5
15901	SF	335±25	415±35	30±7	46±17	236:	230:	409±26	287±25	12±2	20±2	13±2	-2.8±0.7	-8.9±0.8	-41.5±0.8
15950	C	169±0	224±0	...	...	37±12	36±13	491±50	302±42	59±3	...	...	...	-3.6±0.5	-15.2±0.5
15987	SF	334±25	353±32	28±10	46±23	157:	156:	360±21	288±24	17±4	...	...	-5.5±1.8	-24.6±2.0	-100±2
15998	A	...	...	...	...	469:	...	360±37	...	71±4	...	...	...	-2.8±0.4	-12.1±0.7
16021	C	268±43	357±68	...	...	67±25	65±27	558±48	298±35	44±4	15±3	12±4	...	-2.1±0.2	-10.7±0.4
16069	SF	109±14	201±27	18±4	46±17	35±7	33±7	585±38	301±27	39.8±1.3	19.3±1.3	10.9±1.3	-1.2±0.3	-7.6±0.7	-33.0±0.4
16073	SF	256±24	308±33	...	...	131:	128:	378±30	291±32	23±2	13±2	17±2	...	-9.4±1.0	-31.4±1.1
16093	SF	210±21	328±36	...	...	77±11	73±11	470±35	292±30	29±7	20±2	18±4	...	-13.9±1.4	-78±2
16099	SF	132±0	290±0	...	...	50±9	45±9	653±79	298±49	37±2	19.2±1.7	15.7±1.4	...	-6.8±1.1	-27.7±0.7
16116	SF	375±0	445±0	...	...	154:	151:	361±23	287±26	13±2	17±4	17±5	...	-9.4±0.8	-30.9±0.7
16163	SF	202±0	256±0	...	...	43±8	42±8	451±20	299±19	41±2	19±2	16±3	...	-3.8±0.2	-13.6±0.3
16199	SF	216±34	273±43	...	...	116:	113:	356±48	291±53	27±5	...	...	...	-9.2±1.4	-42±3
16232	C	176±53	261±85	...	...	76±29	73±31	573±155	299±107	67±13	24±9	12:	...	-2.4±0.5	-14±3
16236	SF	236±15	430±30	50±7	46±10	97±6	90±6	533±23	291±18	24.2±1.1	...	...	-9.2±1.3	-15.6±0.9	-89.3±1.0
16237	SF	198±57	339±105	...	...	95±35	89±37	530±143	292±104	27±4	...	...	...	-6±2	-25.5±1.8
16314	SF	477±0	620±0	...	...	206:	200:	456±38	289±33	20±4	32±2	16±2	...	-4.5±0.5	-23.3±0.5
16352	SF	300±0	347±0	...	...	119:	117:	372±34	291±36	26±4	...	...	...	-5.5±0.7	-25.4±0.8
16414	SF	279±0	407±0	45±2	46±4	234±6	223±7	424±11	287±11	14.8±1.2	20±3	13±3	-12.4±0.7	-19.2±0.7	-108.7±0.9
16458	C	220±0	297±0	32±7	46±14	137:	132:	446±22	295±21	43±3	21±3	14±3	-3.4±0.7	-8.6±0.6	-38.2±0.8
16472	C	207±50	325±86	...	...	78±21	74±22	584±114	298±78	58±8	...	...	...	-2.9±0.8	-25.2±0.8
16477	C	160±15	239±24	...	...	55±10	52±10	465±35	298±31	44±2	...	...	...	-5.7±0.6	-27.6±0.5
16484	C	424±61	656±104	...	...	489:	465:	452±58	286±51	14±3	...	...	...	-13±2	-89±2
16546	SF	230±0	364±0	37±4	46±7	90±4	85±4	473±15	291±13	25±2	...	...	-5.6±0.7	-12.2±0.4	-53.8±1.3
16618	C	219±0	280±0	...	...	52±14	51±15	448±45	299±41	45±4	...	...	...	-5.4±0.6	-17.4±0.9
16637	C	302±0	472±0	...	...	72±22	68±23	731±102	301±57	79±2	15±3	18±7	...	-1.5±0.3	-8.41±0.14
16644	C	144±0	213±0	...	...	36±19	34±21	523±37	301±30	54±3	20±4	13±2	...	-4.1±0.4	-20.5±0.6
16652	SF	180±0	144±0	...	...	109:	112:	253±45	291±71	25±6	...	...	...	-7.4±1.7	-15.6±1.2
16748	SF	121±0	165±0	...	...	18±4	18±4	479±46	305±40	41±3	...	...	...	-6.4±0.8	-24.2±0.7
16831	A	...	...	...	...	1257:	...	542±80	...	86±12	...	...	...	-6.4±0.8	-26±3
16849	SF	291±0	375±0	...	...	143:	139:	409±30	289±30	21±3	28±2	19±2	...	-8.5±0.8	-33.1±1.1
16872	SF	...	...	...	...	222:	209:	561±106	289±74	22±7	****:	****:	...	-4.0±1.0	-24.4±1.4
16953	SF	318±0	525±0	...	...	161:	152:	491±71	287±57	12±2	...	...	...	-8.7±1.7	-45.8±1.7
17115	SF	313±0	371±0	...	...	183:	179:	317±38	288±48	18:	...	...	...	-21±3	-34.9±1.6
17117	SF	210±0	282±0	35±1	46±2	103:	99:	396±3	291±3	25.6±0.3	15.5±0.6	11.3±0.6	-6.36±0.19	-23.0±0.3	-101.5±0.3
17168	SF	312±23	337±30	31±6	46±13	211:	209:	390±23	287±24	11±3	20±2	12±2	-2.8±0.5	-7.6±0.6	-31.7±0.8
17176	SF	350±0	357±0	40±2	46±3	304±5	303±6	316±6	286±8	11.7±0.6	15.6±0.8	13.0±1.0	-5.0±0.2	-12.7±0.3	-58.1±0.5
17205	SF	240±0	338±0	...	...	78±6	75±6	451±18	293±16	32.5±1.8	20.8±0.9	12.7±0.8	...	-7.5±0.4	-34.5±0.8
17206	C	107±34	177±67	...	...	28±8	26±8	641±92	305±60	57±9	...	...	...	-3.2±0.6	-13.3±0.8
17218	SF	187±0	216±0	...	...	42±13	41±15	354±20	299±24	41.9±1.9	28.6±1.9	15±3	...	-8.4±0.6	-24.8±0.5
17219	SF	128±0	203±0	...	...	37±2	35±2	471±13	299±11	35.1±0.6	17.4±0.5	13.2±0.4	...	-16.1±0.6	-62.7±0.3

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$				$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$				$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$				$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
17254	SF	237±0	325±0	42±3	46±4	78±4	75±4	411±12	293±12	31.0±0.8	20.4±0.8	14.6±1.1	-7.0±0.5	-17.0±0.7	-72.0±0.5						
17258	SF	229±0	292±0	40±1	46±2	157±2	152±2	368±4	290±4	23.6±0.4	14.9±1.2	12.4±0.8	-5.7±0.2	-14.1±0.2	-58.7±0.2						
17263	SF	142±0	194±0	...	...	34±7	33±8	472±18	300±16	37.2±0.9	19.7±1.0	14.3±0.8	...	-4.5±0.2	-17.78±0.15						
17280	C	115±0	187±0	...	...	85±14	81±15	544±30	297±23	57.9±1.3	17±2	10.5±1.1	...	-4.3±0.3	-18.8±0.2						
17372	SF	543±54	698±77	...	...	214:	207:	410±36	288±35	17±4	29±5	29±5	...	-5.6±0.6	-22.7±0.7						
17389	SF	237±27	313±44	24±6	46±16	98:	95:	457±36	293±32	32±3	18±2	13±3	-1.6±0.4	-6.7±0.6	-25.4±1.1						
17393	SF	328±0	637±0	...	...	142:	131:	633±85	288±52	15±2	...	...	...	-4.3±0.7	-27.9±1.9						
17423	A	...	...	...	...	417:	...	610±132	...	82±8	...	...	...	-2.4±0.7	-11.1±0.6						
17433	SF	264±43	267±48	...	...	225:	225:	298±43	290±57	23±8	...	...	...	-22±4	-39±2						
17473	SF	243±0	318±0	43±0	46±1	168±1	162±1	380±2	290±2	21.6±0.3	13.8±0.6	11.2±0.6	-15.4±0.3	-32.6±0.2	-142.1±0.4						
17497	SF	189±0	310±0	...	...	37±9	35±9	576±20	300±15	39.0±1.3	17.9±1.5	15.2±1.1	...	-4.3±0.2	-25.6±0.4						
17629	A	...	...	...	...	156:	...	711±146	...	107±8	31±6	23±4	...	-2.2±0.6	-10.1±0.6						
17647	SF	326±106	363±129	37:	46:	186:	184:	326±119	287±137	14:	...	...	-3.0±1.6	-14±6	-37±7						
17687	SF	190±0	313±0	...	...	67±12	63±12	534±47	296±36	38±4	...	...	...	-6.7±0.7	-30.4±1.3						
17695	SF	496±44	947±95	...	...	293:	272:	571±46	286±32	12±4	...	...	...	-11.5±1.2	-93±2						
17745	SF	409±38	409±42	31:	46:	191:	191:	314±21	285±27	8.6±1.9	17.3±1.5	16.8±2.0	-1.8±0.8	-8.6±0.7	-26.7±0.7						
17748	SF	225±34	341±58	37:	46:	154:	146:	435±43	290±39	23±8	25:	21±6	-4.2±1.8	-7.8±1.0	-35.0±1.6						
17773	SF	100±28	162±50	...	...	125:	118:	465±115	293±96	33±3	...	...	...	-18±6	-31.0±1.3						
17784	SF	464±0	620±0	...	...	104:	100:	489±59	293±48	31±2	27±3	25±2	...	-4.0±0.7	-19.0±0.4						
17809	SF	225±55	345±99	...	...	145:	138:	472±133	288±107	17±3	...	...	...	-18±5	-44±7						
17880	SF	98±33	116±43	...	...	26±8	25±8	383±42	303±46	45.0±1.7	16.8±1.8	12.2±1.3	...	-7.1±1.1	-16.8±0.3						
17884	SF	172±38	217±49	26±7	45±20	33±7	32±8	407±56	301±56	38±3	13±4	12±2	-1.3±0.4	-6.4±1.2	-25.5±1.1						
17899	SF	333±41	336±52	28:	46:	185:	185:	384±43	287±45	13±3	...	...	-2.6±1.1	-8.5±1.3	-38.2±1.6						
17907	SF	161±0	233±0	29±3	46±8	50±4	48±4	452±13	298±12	43.0±0.7	18.9±0.9	13.5±1.0	-3.9±0.5	-13.8±0.6	-58.9±0.4						
17928	A	...	...	...	...	317:	...	490±73	...	160±19	42±15	42±12	...	-1.43±0.17	-4.0±0.5						
17952	A	...	...	...	...	196:	...	862±206	...	115±15	48±13	27:	...	-1.1±0.4	-7.0±0.5						
17965	SF	125±40	257±87	...	...	27±6	25±6	645±95	301±60	30±3	...	...	...	-5.2±1.0	-30.5±1.1						
17967	SF	126±9	248±20	...	...	47±10	43±10	571±40	298±29	41±2	19±2	14.3±1.8	...	-10.0±0.7	-44±2						
18010	SF	258±43	324±63	...	...	84:	82:	405±59	293±58	30±7	...	...	...	-10.5±2.0	-32.9±1.8						
18030	SF	306±0	417±0	32±2	46±5	138±3	133±4	416±8	288±7	16.7±0.7	23.8±1.6	17.4±1.5	-3.4±0.3	-11.1±0.3	-53.1±0.3						
18049	SF	220±30	333±52	...	...	84±18	80±19	531±66	292±50	27±9	32±4	25±2	...	-4.5±0.5	-37±3						
18083	SF	130±20	130±22	35±10	45±19	21±7	21±8	321±30	303±40	36±3	...	...	-4.5±1.2	-21±2	-60±2						
18091	SF	214±16	278±21	...	...	65±7	63±7	385±38	294±40	32±2	16±2	11±2	...	-6.7±0.6	-22.8±1.6						
18179	SF	319±0	509±0	...	...	212±12	201±13	476±36	288±30	18±5	...	...	...	-12.5±0.8	-143±8						
18189	C	148±8	302±20	...	...	58±7	54±7	655±31	298±19	46.3±1.6	15.8±1.0	12.5±1.1	...	-6.7±0.4	-31.5±0.6						
18201	C	178±20	284±35	...	...	74±11	70±11	498±58	298±48	58±7	27±5	18±4	...	-9.6±1.2	-47±3						
18253	SF	77±15	96±23	...	...	15±3	14±4	436±52	305±50	35±5	15±2	15±2	...	-7.2±1.1	-26.3±1.1						
18254	SF	...	...	...	...	54±38	51±40	518±183	297±135	33±7	...	...	...	-4±2	-16.6±1.2						
18273	SF	218±20	308±32	33±5	46±10	108:	103:	429±31	292±29	26±4	...	...	-5.9±0.8	-20.8±2.0	-123±3						
18312	SF	303±0	313±0	...	...	544:	542:	277±87	284±117	04:	...	...	...	-21±4	-149±41						
18323	SF	291±20	330±26	...	...	194±8	191±8	346±11	287±13	13±2	14±4	15±3	...	-12.3±0.5	-65.5±1.3						
18333	SF	188±26	297±47	...	...	73±15	69±16	532±68	295±51	36±5	23±4	17±4	...	-4.9±0.9	-25.5±0.8						
18339	SF	135±14	230±26	34±8	46±15	73±9	68±10	490±33	294±28	33±10	10±3	10:	-4.9±1.1	-14.1±1.1	-53±2						

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$	$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$	
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
18363	SF	247±9	300±13	41±3	46±6	109:	107:	358±13	290±15	21.6±1.7	13.7±1.1	14.5±1.5	-10.8±1.0	-19.7±0.5	-113±3
18374	SF	132±42	147±51	40:	46:	375:	370:	320±84	284±99	7±2	...	...	-10.3±4.5	-43±14	-100±9
18375	C	217±56	260±75	...	...	82±49	80±53	569±66	297±48	57±2	15±2	10±2	...	-1.09±0.17	-5.28±0.14
18463	C	160±18	178±24	25±6	45±15	28±5	28±5	393±19	305±20	58±4	21.8±1.5	15±2	-2.1±0.5	-9.4±0.6	-25.8±0.4
18473	C	163±47	245±82	...	...	44±19	42±20	574±112	300±79	46±7	...	...	...	-3.1±0.7	-16.1±1.5
18475	C	211±52	341±104	...	...	101:	95:	628±100	296±64	48±7	...	...	...	-3.3±0.7	-15.1±1.0
18588	SF	248±11	305±16	38±3	46±6	200±9	195±9	360±14	287±15	13±3	23±2	14±3	-7.1±0.6	-26.9±1.3	-74.8±1.2
18602	SF	362±110	362±128	...	...	127:	127:	378±75	290±77	21±2	...	...	...	-3.8±1.0	-38.8±1.7
18606	SF	164±36	216±57	...	...	36±8	34±8	474±55	301±48	50±10	...	...	...	-6.1±0.9	-29.2±1.5
18612	C	255±0	234±0	...	...	14±3	14±3	354±34	312±42	70±5	25±4	22±2	...	-2.8±0.3	-9.5±0.4
18697	SF	161±0	276±0	...	...	53±42	49±44	542±20	300±16	41.9±1.2	14.6±1.0	11.0±1.0	...	-6.3±0.3	-24.2±0.3
18704	SF	268±25	331±34	36±10	47±18	199:	194:	363±31	287±34	13±2	...	...	-4.0±1.0	-15.9±1.7	-53±2
18836	SF	152±19	246±30	26±5	46±14	74±21	70±23	457±50	294±44	37±2	23.4±1.9	15.0±1.4	-2.0±0.4	-9.7±1.4	-30.5±1.3
18851	SF	235±58	452±139	...	...	24±11	22±12	738±118	304±66	39±9	...	...	...	-4.4±0.9	-30±2
18855	C	157±40	202±56	...	...	65±16	63±18	437±50	297±46	46±3	21±4	17±3	...	-4.3±0.5	-16.4±1.1
18903	C	136±47	210±87	...	...	34±12	33±13	649±69	304±44	56±3	...	...	...	-2.2±0.3	-11.8±0.3
18940	SF	176±51	210±85	31±5	45±10	35±13	34±14	474±164	302±143	52±15	10:	14±4	-2.5±0.4	-5.7±0.6	-18±6
18942	SF	225±38	312±54	...	...	88±18	85±19	386±57	293±59	31±11	...	...	...	-19±3	-71±5
18943	SF	231±33	301±42	...	...	69±16	67±18	366±54	296±60	34:	20:	12:	...	-9.5±1.8	-33±2
18945	SF	211±20	290±31	35±8	46±16	119:	115:	409±37	291±36	24±2	20±2	15±2	-5.0±1.1	-15.1±1.8	-86±2
19000	SF	256±49	329±72	...	...	98:	96:	444±67	293±60	29±4	...	...	...	-4.7±0.8	-25±2
19003	A	...	...	...	...	32±14	...	541±140	...	157±16	...	...	...	-1.4±0.4	-6.0±0.7
19027	SF	315±22	346±32	39±6	46±10	231:	229:	362±30	286±33	10±2	14±2	14±2	-10.0±1.4	-19.0±1.6	-76±4
19048	C	119±0	173±0	...	...	70±5	67±6	472±12	298±10	52.9±0.8	12.6±0.8	13.7±0.7	...	-5.79±0.20	-22.97±0.15
19052	SF	257±58	304±74	44:	46:	74±16	73±18	368±143	292±147	30±8	...	...	-10.1±7.5	-7±2	-25±8
19078	SF	247±12	294±16	40±10	46±18	111:	109:	357±15	291±17	25.1±1.0	...	...	...	-8.5±2.3	-14.8±0.8
19149	SF	256±17	321±22	37±5	46±11	107:	104:	364±21	291±23	24±3	20±2	15±2	-5.4±0.9	-15.6±1.2	-59.2±1.2
19155	C	282±40	368±58	...	...	78±19	76±20	457±33	297±30	52±2	27±2	21.9±1.8	...	-3.0±0.3	-9.4±0.3
19205	SF	250±76	488±149	...	...	210:	194:	530±157	285±111	08:	...	...	...	-11±4	-115±18
19274	SF	96±28	103±34	...	...	16±9	16±10	364±58	306±67	39±4	...	...	...	-10±2	-29.4±1.3
19346	SF	236±41	315±60	...	...	175:	169:	402±69	289±67	18:	15:	10±3	...	-10±2	-47±5
19353	SF	124±0	226±0	...	...	26±8	25±9	645±45	304±29	47±2	14.1±1.8	11±2	...	-4.4±0.4	-18.0±0.5
19616	C	115±0	255±0	...	...	58±7	52±8	669±23	298±14	46.5±1.2	17.3±1.0	14.1±1.2	...	-8.2±0.4	-44.7±0.4
19625	SF	187:	326:	...	...	160:	150:	411:	290:	21±4	...	...	...	-20±17	-16±3
19626	C	351±0	439±0	...	...	159±5	155±5	400±12	292±12	31.5±1.8	20.9±1.0	15.1±1.0	...	-8.8±0.3	-45.4±0.7
19723	SF	143±5	265±11	30±2	46±5	58±3	54±4	542±16	297±12	36.7±1.2	15.2±1.3	10.6±1.1	-4.6±0.3	-16.0±0.7	-82.7±0.5
19764	SF	156±26	262±46	...	...	67±19	63±21	508±47	295±37	39:	...	...	...	-5.8±0.7	-27.8±1.2
19769	SF	236±47	337±81	...	...	64±14	62±15	521±67	294±52	33±6	...	...	...	-4.2±0.7	-18.3±0.6
19804	SF	202±22	287±34	...	...	59±21	56±23	441±40	297±37	38±3	16.4±1.9	8.6±1.6	...	-6.1±0.8	-22.8±0.5
19818	SF	182±12	293±24	27±3	46±9	64±8	61±8	552±27	295±20	37±2	13.5±0.6	12.9±1.2	-3.8±0.5	-10.1±0.7	-43.2±0.8
19953	SF	530±0	669±0	...	...	178:	173:	418±28	289±27	19±2	27±2	17±2	...	-4.8±0.4	-20.2±0.6
19969	SF	133±9	196±14	32±3	46±8	36±3	34±4	458±13	300±12	35.1±0.9	15.2±1.0	11.2±0.8	-3.7±0.4	-10.7±0.4	-52.5±0.5
20039	A	...	...	...	...	525:	...	592±207	...	112±38	...	...	...	-1.1±0.4	-4.8±1.0

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}]\lambda 3727}{\text{H}\beta}$				$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$				$\frac{[\text{O III}]\lambda 5007}{\text{H}\beta}$				$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{N II}]\lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}]\lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
20046	SF	168±12	260±21	33±3	46±7	62±8	59±8	465±22	294±20	36±3	14:	10±2	-4.9±0.5	-13.3±0.9	-54.3±0.7						
20051	SF	320±17	328±23	29±4	46±8	119:	118:	391±24	291±25	25.2±1.5	...	...	-3.2±0.4	-9.6±0.6	-43±2						
20084	SF	307±13	454±21	34±4	46±8	149:	142:	433±14	289±13	19.7±1.0	22.6±1.2	15.2±1.0	-3.9±0.5	-12.2±0.5	-48.3±0.6						
20152	A	...	...	...	...	303:	...	1268±205	...	55±6	...	...	...	-2.8±0.6	-29.0±1.8						
20185	SF	162±26	350±69	...	...	62±13	57±13	742±95	297±52	38±6	...	...	...	-6.2±1.1	-38.9±0.8						
20208	SF	288±0	373±0	41±3	46±5	75±2	73±3	391±7	292±7	24.9±0.3	20.8±0.5	14.8±0.5	-5.5±0.5	-13.2±0.3	-59.15±0.15						
20217	SF	100±23	151±39	...	...	56±26	53±28	494±86	298±70	44±6	11±4	12:	...	-5.5±0.9	-23±3						
20231	SF	162±42	242±72	...	...	35±7	34±8	543±129	300±95	41±6	21±5	20±5	...	-4.2±1.0	-23±3						
20257	SF	279±55	314±81	24:	46:	114:	112:	406±66	292±64	26±10	...	...	-1.8±0.6	-9.0±1.9	-42±2						
20262	C	237±52	260±62	...	...	80±24	79±27	390±68	297±70	55±6	...	...	...	-3.8±0.9	-19.2±1.1						
20267	SF	229±13	339±25	28±7	46±14	104:	99:	501±27	291±22	24±9	...	...	-3.0±0.6	-8.5±0.5	-38.3±1.2						
20319	SF	343±37	426±51	...	...	152:	148:	385±41	291±43	26±5	...	...	...	-5.5±0.7	-10.8±0.7						
20331	SF	129±0	209±0	...	...	39±2	37±2	511±7	299±6	33.7±0.6	17.6±0.4	13.6±0.5	...	-8.47±0.17	-39.8±0.2						
20345	SF	213±55	322±83	...	...	75±26	72±28	448±109	293±95	31±4	...	...	...	-5.5±1.8	-25.1±1.8						
20467	SF	355±52	553±98	...	...	81±25	77±26	547±69	293±50	31±4	21±3	16±3	...	-5.8±0.9	-33±2						
20476	SF	226±3	294±5	31±1	46±2	346±4	335±4	394±4	284±4	6.4±0.6	9.9±0.6	9.2±0.8	-8.4±0.4	-33.2±0.5	-142.3±0.8						
20480	SF	286±0	356±0	42±2	46±4	88±3	86±4	374±9	291±9	24.5±1.2	22.8±1.5	13.0±1.3	-5.4±0.4	-14.2±0.4	-47.9±0.5						
20528	C	186±0	390±0	...	...	45±9	41±9	748±38	301±21	54.8±1.7	20±2	17.0±1.7	...	-3.5±0.2	-16.5±0.2						
20553	C	552±0	1566±0	...	...	325:	288:	933±140	291±59	29±9	...	...	...	-3.6±0.6	-21±2						
20560	SF	162±12	171±15	45±7	0±0	525±21	521±23	296±18	290±25	2.9±0.4	9.1±1.3	6.4±1.6	-28.9±4.3	-147±8	-27.5±1.3						
20562	SF	286±9	300±10	44±3	46±5	384±9	382±10	303±7	284±10	8.3±2.0	14.2±1.6	4.8±1.9	-9.0±0.8	-20.8±0.7	-117.8±1.3						
20581	SF	344±0	485±0	...	...	170±8	164±9	430±16	288±15	16.3±1.4	22.1±1.6	14.9±1.3	...	-8.8±0.4	-42.8±0.5						
20613	SF	196±6	249±8	39±3	46±5	73±3	70±3	371±11	293±12	29.0±1.4	20.6±1.3	17.3±1.3	-7.2±0.6	-21.1±0.6	-77.2±1.9						
20625	SF	170±0	261±0	...	...	46±8	43±8	509±23	299±19	41.2±1.6	20.1±1.3	14.1±1.7	...	-4.7±0.3	-22.5±0.3						
20687	SF	136±27	210±45	...	...	28±10	27±11	597±46	304±32	46±3	13±2	13±3	...	-2.3±0.2	-11.3±0.3						
20719	A	...	...	...	...	509:	...	496±78	...	71±7	20±3	21±4	...	-6.1±0.8	-28±3						
20721	SF	195±16	277±25	35±5	45±10	51±6	49±6	434±24	297±23	34.3±1.4	18.5±1.3	13.2±1.2	-4.0±0.6	-10.2±0.8	-48.2±0.9						
20764	C	199±45	236±61	...	...	41±20	41±22	569±64	301±47	48±6	...	...	...	-1.35±0.17	-9.5±0.6						
20788	C	107±20	202±47	...	...	21±3	20±3	761±115	307±63	58±17	...	...	...	-3.1±0.4	-17.0±2.0						
20830	SF	146±15	272±30	...	...	41±7	38±8	574±30	299±21	36.6±1.6	16.3±2.0	15.4±2.0	...	-7.0±0.5	-28.0±0.4						
21034	C	225±0	466±0	39±3	46±6	209±6	192±6	659±18	295±11	54.2±1.4	23.2±1.3	21.6±0.9	-2.7±0.2	-6.2±0.2	-44.2±0.6						
21060	SF	267±65	483±124	...	...	225:	209:	521±119	284±87	7±2	...	...	...	-9±2	-81±3						
21062	SF	421±0	584±0	...	...	110:	106:	456±16	290±14	22.6±1.1	28±2	19.1±1.9	...	-6.0±0.3	-33.8±0.4						
21129	SF	188±0	356±0	...	...	59±15	54±15	693±96	296±56	35±5	...	...	...	-4.6±0.9	-38.7±1.4						
21391	A	...	...	...	...	642:	...	1120±337	...	108±17	...	...	...	-1.8±0.7	-14±2						
21413	SF	279±0	427±0	...	...	135:	128:	534±93	292±69	28±7	...	...	...	-8.1±1.4	-41±5						
21543	SF	143±17	232±29	...	...	44±12	41±13	500±44	299±37	45±5	...	...	...	-5.5±0.6	-21.9±0.7						
21589	C	180±41	257±65	...	...	118:	113:	450±92	295±81	43±6	23±4	12±3	...	-6.2±1.7	-16.6±0.9						
21594	SF	273±0	462±0	...	...	152:	143:	497±56	287±45	13±3	...	...	...	-13.5±0.7	-76±8						
21839	SF	...	...	...	...	115:	111:	384±33	291±35	27±2	...	...	...	-14.8±1.6	-48.5±1.7						
21861	SF	242±0	288±0	...	...	174:	171:	345±41	286±47	11±4	...	...	...	-8.6±1.3	-31.2±1.6						
21872	SF	117±0	215±0	...	...	40±6	37±6	567±18	299±13	36.4±0.8	17.8±0.9	14.0±0.9	...	-7.9±0.3	-36.2±0.3						
21890	SF	203±0	318±0	...	...	57±23	54±24	565±80	296±57	34±6	14.1±1.8	12±2	...	-4.8±0.7	-25±2						

Continúa en la siguiente página

Tabla C.1: continuación

Objeto	Clase	$\frac{[\text{O II}] \lambda 3727}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\gamma}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{O III}] \lambda 5007}{\text{H}\beta}$		$\frac{\text{H}\alpha}{\text{H}\beta}$		$\frac{[\text{N II}] \lambda 6583}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}] \lambda 6716}{\text{H}\alpha}$	$\frac{[\text{S II}] \lambda 6731}{\text{H}\alpha}$	$W(\text{H}\gamma)$	$W(\text{H}\beta)$	$W(\text{H}\alpha)$
		I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I	I	[Å]	[Å]	[Å]
sn1992P	C	121±16	205±32	...	...	30±6	29±7	643±35	308±23	86.7±1.1	21.1±1.0	17.0±1.2	...	-3.1±0.2	-15.99±0.19
sn1994S	C	...	...	...	...	56±7	49±7	1080±44	300±17	62.4±0.8	19.5±0.6	15.4±0.6	...	-2.44±0.14	-17.05±0.15
sn1995ac	C	206±34	298±56	...	...	44±16	42±17	713±40	303±23	59.8±1.7	22.6±1.5	24.4±1.9	...	-1.22±0.10	-7.98±0.07
sn1997Y	C	...	...	...	...	48±6	42±6	1100±48	301±18	62.5±0.5	16.9±0.5	13.9±0.5	...	-4.3±0.3	-27.36±0.15
sn1999aa	A	...	...	...	...	149:	...	907±143	...	92±2	25±2	24.3±2.0	...	-0.85±0.19	-4.88±0.10
sn1999gd	A	...	...	...	...	348:	...	2409±198	...	104.2±1.4	29.2±1.0	24.5±0.8	...	-0.82±0.09	-13.91±0.18
sn2001G	C	...	...	...	...	67±16	61±16	967±79	299±34	57.7±1.0	18.8±0.8	17.9±0.7	...	-1.69±0.19	-11.86±0.17
sn2002ck	SF	99±16	193±34	...	...	23±6	21±6	712±29	306±17	46.1±0.8	11.4±0.7	7.7±0.7	...	-2.70±0.15	-15.23±0.14
sn2003cq	A	...	...	...	...	200:	...	791±126	...	100±6	20±4	20±2	...	-0.51±0.11	-2.79±0.12
sn2004as	SF	387±106	387±124	...	...	88±20	88±22	379±62	291±65	24±5	27±5	31±4	...	-2.8±0.6	-9.9±0.4
sn2004bg	C	...	...	...	...	107:	101:	536±18	297±14	54.8±1.2	29.0±1.1	18.8±0.7	...	-4.17±0.20	-14.37±0.13
sn2004L	A	...	...	...	...	125:	...	789±166	...	127±4	34±3	33±2	...	-0.40±0.12	-2.41±0.07
sn2005bg	SF	...	...	33±2	45±4	26±2	24±3	484±6	301±5	32.3±0.3	16.9±0.3	12.0±0.3	-2.17±0.14	-6.37±0.12	-27.44±0.13
sn2005eq	C	...	...	...	...	74±17	69±17	859±89	299±42	63±2	17.2±1.9	14.5±1.5	...	-1.08±0.15	-6.26±0.14
sn2005hj	SF	...	...	...	...	94±23	92±25	446±63	294±56	36±3	28±2	21±2	...	-3.3±0.6	-13.1±0.3
sn2005ir	SF	181±24	263±40	...	...	47±10	45±11	508±27	300±22	44.3±1.2	20.0±1.1	18±2	...	-4.6±0.3	-20.4±0.3
sn2005ms	C	...	...	21±3	45±11	45±7	42±8	631±17	301±11	56.8±0.6	20.8±0.6	16.3±0.5	-0.95±0.17	-3.68±0.14	-19.00±0.12
sn2006ar	SF	151±33	202±49	...	...	22±6	21±7	494±25	305±21	40.9±1.2	17.9±1.2	17.2±1.2	...	-2.76±0.19	-11.21±0.14
sn2006cj	SF	148±10	362±28	...	...	38±4	34±4	825±30	300±15	41.4±0.6	18.3±0.6	12.8±0.9	...	-4.6±0.2	-27.5±0.3
sn2006cp	SF	...	...	26±4	45±12	32±5	31±6	454±14	301±13	38.7±0.8	22.2±0.7	15.0±0.8	-1.2±0.2	-4.32±0.19	-18.41±0.17
sn2006te	SF	131±19	250±42	...	...	32±6	30±6	707±33	303±19	50.3±0.9	16.5±0.9	12.6±0.8	...	-3.10±0.20	-16.1±0.2
sn2007F	SF	168±21	221±30	27±3	46±9	50±4	49±5	449±12	299±11	45.2±0.8	20.3±0.8	15.2±0.9	-1.16±0.16	-4.11±0.15	-16.78±0.12
sn2007O	C	127±9	216±20	23±3	45±9	42±4	40±4	640±18	303±12	68.3±0.7	18.3±0.7	18.5±0.6	-1.5±0.2	-4.38±0.18	-21.98±0.17

Tabla C.2: Propiedades derivadas del cálculo de las abundancias de oxígeno para las galaxias clasificadas como Star Forming o Composite.

Objeto	Clase	$c(\text{H}\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$								$Te [\text{O III}]\log \frac{\text{O}^{++}}{\text{O}^+}$	$12 + \log(\text{N}/\text{H})$	$\log(\text{N}/\text{O})$		
				[Å]	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T				KN2O2	OH _{FINAL}
5	SF	0.11 ± 0.06	1.0^a	8.47	8.75	8.58	8.57	8.69	8.82	8.82	8.82	8.76 ± 0.04	5175	-0.48	8.03	-0.68 ± 0.03
10	SF	0.36 ± 0.01	1.0 ± 0.1	8.10	8.22	8.22	8.27	8.32	8.27	8.28	...	8.26 ± 0.05	11175	-0.3	6.66	-1.43 ± 0.03
30	SF	0.85 ± 0.01	0.3 ± 0.1	8.26	8.55	8.52	8.54	8.65	8.71	8.73	8.68	8.66 ± 0.03	6475	-0.7	7.7	-0.93 ± 0.03
83	SF	0.15 ± 0.12	1.0^a	8.08	8.33	8.46	8.53	8.63	8.63	8.61	8.61	8.58 ± 0.02	7425	-0.64	7.61	-0.92 ± 0.08
128	SF	0.32 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.07	8.19	8.28	8.38	8.46	8.35	8.27	...	8.33 ± 0.04	10625	-0.32	6.95	-1.23 ± 0.03
133	SF	0.63 ± 0.05	1.0^a	8.32	8.70	8.61	8.52	8.63	8.82	8.81	8.77	8.75 ± 0.04	5275	-0.66	7.91	-0.8 ± 0.03
171	SF	0.31 ± 0.03	1.0^a	8.15	8.35	8.38	8.44	8.54	8.50	8.54	8.47	8.48 ± 0.04	8625	-0.56	7.27	-1.14 ± 0.03
172	SF	0.37 ± 0.07	1.0^a	8.09	8.27	8.36	8.44	8.54	8.49	8.53	8.49	8.48 ± 0.03	8625	-0.5	7.28	-1.11 ± 0.04
194	SF	0.57 ± 0.03	1.0^a	8.40	8.69	8.55	8.53	8.65	8.76	8.80	8.76	8.72 ± 0.04	5575	-0.55	7.9	-0.77 ± 0.03
247	SF	0.45 ± 0.15	1.0^a	8.22	8.57	8.59	8.58	8.71	8.82	8.78	8.77	8.74 ± 0.04	5675	-0.7	8.02	-0.69 ± 0.03
703	SF	0.24 ± 0.06	1.0 ± 0.4	8.20	8.44	8.43	8.45	8.55	8.57	8.58	8.53	8.53 ± 0.03	7875	-0.65	7.36	-1.11 ± 0.05
744	C	0.87 ± 0.15	1.0^a	7.83	8.17	8.53	8.60	8.72	8.72	8.59	8.65	8.62 ± 0.05	7625	-0.9	7.78	-0.82 ± 0.03
859	SF	0.35 ± 0.07	1.0 ± 0.3	8.26	8.48	8.43	8.47	8.57	8.58	8.62	8.58	8.55 ± 0.03	7575	-0.57	7.42	-1.06 ± 0.06
911	SF	0.38 ± 0.11	1.4 ± 0.2	8.17	8.35	8.38	8.45	8.53	8.50	8.53	8.51	8.48 ± 0.03	8275	-0.48	7.31	-1.08 ± 0.05
986	SF	0.51 ± 0.1	1.0^a	8.10	8.33	8.40	8.45	8.56	8.54	8.56	8.50	8.51 ± 0.03	8325	-0.63	7.36	-1.09 ± 0.04
1119	C	0.23 ± 0.03	4.1 ± 0.3	8.11	8.19	8.29	8.60	8.72	8.37	7.97	8.67	8.52 ± 0.07	9475	0.39	7.56	-0.51 ± 0.03
1241	C	0.76 ± 0.09	1.0^a	8.29	8.52	8.53	8.64	8.78	8.72	8.69	8.68	8.65 ± 0.03	6775	-0.57	7.98	-0.6 ± 0.08
1354	SF	0.73 ± 0.03	1.0^a	8.20	8.45	8.47	8.52	8.63	8.63	8.63	8.62	8.59 ± 0.03	7325	-0.65	7.57	-0.96 ± 0.03
1403	SF	0.21 ± 0.16	1.0^a	8.47	8.57	8.33	8.43	8.47	8.39	8.50	8.52	8.43 ± 0.05	8525	-0.13	7.15	-1.08 ± 0.12
1688	SF	0.45 ± 0.07	1.0^a	8.27	8.48	8.45	8.51	8.62	8.61	8.62	8.61	8.57 ± 0.03	7425	-0.61	7.53	-0.99 ± 0.03
1750	SF	0.57 ± 0.12	1.0^a	8.16	8.47	8.51	8.51	8.64	8.70	8.70	8.66	8.64 ± 0.03	6725	-0.75	7.68	-0.93 ± 0.08
1794	SF	0.45 ± 0.06	1.0^a	7.82	8.00	8.26	8.32	8.36	8.32	8.32	...	8.31 ± 0.04	11175	-0.52	6.75	-1.47 ± 0.06
1991	SF	0.22 ± 0.06	2.5 ± 0.4	8.12	8.29	8.37	8.46	8.55	8.48	8.45	8.45	8.44 ± 0.03	9175	-0.49	7.28	-1.06 ± 0.04
2017	SF	0.69 ± 0.11	1.0 ± 0.2	8.41	8.66	8.53	8.56	8.68	8.73	8.76	8.73	8.69 ± 0.03	6175	-0.61	7.87	-0.77 ± 0.07
2078	C	0.17 ± 0.16	1.0^a	8.24	8.45	8.49	8.60	8.72	8.66	8.63	8.63	8.59 ± 0.03	7375	-0.55	7.77	-0.75 ± 0.09
2081	SF	0.54 ± 0.02	0.6 ± 0.1	8.14	8.32	8.36	8.43	8.51	8.48	8.50	8.43	8.45 ± 0.03	8875	-0.54	7.18	-1.18 ± 0.03
2149	SF	0.07 ± 0.15	1.0^a	8.78	8.94	8.58	8.60	8.73	8.80	8.84	8.91	8.83 ± 0.03	4975	0.14	8.13	-0.18 ± 0.1
2235	SF	1.36 ± 0.04	1.0^a	7.93	8.20	8.44	8.52	8.62	8.59	8.45	8.48	8.50 ± 0.04	8875	-0.82	7.39	-1.06 ± 0.03
2372	SF	0.2 ± 0.12	1.0^a	8.62	8.79	8.52	8.57	8.68	8.71	8.80	8.76	8.72 ± 0.03	5425	-0.13	7.96	-0.58 ± 0.09
2440	SF	0.58 ± 0.03	2.7 ± 0.1	8.25	8.49	8.46	8.50	8.60	8.62	8.64	8.60	8.57 ± 0.03	7325	-0.65	7.54	-0.99 ± 0.03
2551	SF	1.11 ± 0.08	1.0^a	...	...	8.28	8.36	8.43	8.35	...	...	8.33 ± 0.07	8675	-0.83	7.09	-1.85 ± 0.06
2561	SF	0.28 ± 0.07	1.0^a	8.21	8.48	8.52	8.58	8.70	8.72	8.72	8.72	8.67 ± 0.03	6475	-0.63	7.84	-0.79 ± 0.09
2784	SF	0.43 ± 0.08	1.0^a	8.27	8.49	8.46	8.53	8.64	8.63	8.64	8.63	8.59 ± 0.03	7275	-0.62	7.58	-0.95 ± 0.04
2992	C	0.54 ± 0.06	1.0^a	8.28	8.47	8.46	8.56	8.66	8.62	8.62	8.66	8.59 ± 0.02	7275	-0.51	7.72	-0.81 ± 0.1
3087	SF	0.17 ± 0.06	1.4 ± 0.4	8.11	8.27	8.28	8.31	8.36	8.36	8.36	...	8.34 ± 0.04	9925	-0.46	6.82	-1.41 ± 0.07
3150	SF	0.2 ± 0.08	1.0^a	8.45	8.68	8.50	8.51	8.61	8.69	8.78	8.69	8.67 ± 0.04	6125	-0.54	7.7	-0.91 ± 0.05
3175	SF	0.29 ± 0.08	1.0^a	8.29	8.38	8.22	8.31	8.35	8.26	8.35	...	8.30 ± 0.05	10225	-0.02	6.77	-1.26 ± 0.16
3225	C	0.77 ± 0.04	1.0^a	8.45	8.74	8.61	8.63	8.77	8.86	8.86	8.86	8.80 ± 0.03	5125	-0.51	8.16	-0.58 ± 0.04
3256	SF	0.33 ± 0.07	1.4 ± 0.2	8.28	8.56	8.52	8.54	8.65	8.70	8.71	8.67	8.65 ± 0.03	6675	-0.7	7.72	-0.89 ± 0.03
3331	SF	0.87 ± 0.04	1.0^a	8.33	8.64	8.58	8.59	8.72	8.78	8.79	8.77	8.73 ± 0.03	5875	-0.66	7.97	-0.72 ± 0.05

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(H\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(O/H)$								$Te [O III] \log \frac{O^{++}}{O^+}$	$12 + \log(N/H)$	$\log(N/O)$		
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T				KN2O2	OH _{FINAL}
3368	SF	0.56 ± 0.05	0.8 ± 0.2	8.06	8.14	8.16	8.12	8.13	8.18	8.17	...	8.15 ± 0.06	10575	-0.03	6.35	-1.5 ± 0.08
3475	SF	0.5 ± 0.01	0.1 ± 0.1	8.24	8.44	8.43	8.51	8.61	8.58	8.62	8.60	8.56 ± 0.03	7625	-0.53	7.48	-1.01 ± 0.03
3527	SF	0.76 ± 0.09	1.0^a	8.20	8.47	8.49	8.53	8.67	8.67	8.67	8.67	8.62 ± 0.03	6925	-0.65	7.69	-0.9 ± 0.06
3592	C	0.59 ± 0.07	1.0^a	8.22	8.51	8.57	8.67	8.80	8.80	8.74	8.80	8.73 ± 0.03	6175	-0.66	8.1	-0.59 ± 0.04
3780	SF	0.4 ± 0.07	0.5 ± 0.3	8.28	8.48	8.47	8.56	8.67	8.63	8.64	8.67	8.60 ± 0.02	7125	-0.51	7.66	-0.88 ± 0.05
3825	C	0.81 ± 0.09	1.0^a	8.41	8.53	8.41	8.58	8.70	8.54	8.61	8.64	8.56 ± 0.03	7575	-0.17	7.69	-0.69 ± 0.06
3881	C	0.68 ± 0.04	1.0^a	8.34	8.53	8.50	8.64	8.77	8.68	8.68	8.68	8.64 ± 0.03	6875	-0.45	7.91	-0.64 ± 0.03
3901	SF	0.43 ± 0.01	1.0 ± 0.1	8.12	8.26	8.31	8.38	8.45	8.39	8.40	...	8.37 ± 0.04	9875	-0.42	7.01	-1.24 ± 0.03
3945	SF	0.16 ± 0.14	1.0^a	8.11	8.32	8.44	8.54	8.63	8.60	8.59	8.62	8.57 ± 0.02	7575	-0.57	7.58	-0.93 ± 0.09
3975	SF	0.55 ± 0.15	1.0^a	8.18	8.48	8.54	8.58	8.71	8.74	8.74	8.74	8.69 ± 0.03	6275	-0.63	7.96	-0.69 ± 0.11
3983	SF	0.19 ± 0.12	1.0^a	8.22	8.34	8.30	8.39	8.43	8.37	8.43	8.41	8.38 ± 0.04	9225	-0.27	7	-1.22 ± 0.11
4019	C	0.64 ± 0.13	1.0^a	8.30	8.58	8.55	8.60	8.73	8.76	8.76	8.76	8.71 ± 0.03	6125	-0.63	7.97	-0.7 ± 0.1
4046	SF	1.05 ± 0.05	1.0^a	8.27	8.55	8.54	8.59	8.72	8.74	8.74	8.74	8.69 ± 0.03	6325	-0.66	7.88	-0.77 ± 0.04
4181	SF	0.54 ± 0.07	1.0^a	8.35	8.61	8.52	8.54	8.66	8.71	8.75	8.71	8.67 ± 0.03	6325	-0.61	7.77	-0.86 ± 0.03
4236	SF	0.76 ± 0.08	1.0^a	8.37	8.62	8.51	8.53	8.64	8.69	8.75	8.69	8.66 ± 0.03	6375	-0.61	7.72	-0.9 ± 0.04
4311	SF	0.59 ± 0.1	1.0^a	8.39	8.63	8.51	8.54	8.66	8.70	8.75	8.70	8.67 ± 0.03	6325	-0.61	7.76	-0.86 ± 0.04
4547	C	0.49 ± 0.11	1.0^a	8.45	8.74	8.66	8.73	8.88	8.93	8.88	8.93	8.85 ± 0.03	4975	-0.46	8.39	-0.34 ± 0.06
4612	SF	0.12 ± 0.05	1.0^a	8.06	8.22	8.28	8.32	8.37	8.35	8.36	...	8.33 ± 0.04	10325	-0.48	6.83	-1.39 ± 0.07
4682	SF	0.17 ± 0.13	1.0^a	8.23	8.44	8.45	8.53	8.62	8.61	8.62	8.62	8.58 ± 0.02	7425	-0.58	7.51	-1 ± 0.09
4969	C	0.59 ± 0.07	1.0^a	8.40	8.67	8.58	8.63	8.76	8.81	8.81	8.81	8.75 ± 0.03	5625	-0.58	8.06	-0.66 ± 0.04
5103	SF	0.52 ± 0.03	1.3 ± 0.1	8.00	8.15	8.25	8.28	8.33	8.30	8.27	...	8.27 ± 0.05	11275	-0.46	6.67	-1.48 ± 0.05
5199	SF	0.17 ± 0.14	2.5 ± 0.3	8.14	8.34	8.38	8.42	8.52	8.51	8.52	8.49	8.48 ± 0.03	8375	-0.53	7.3	-1.1 ± 0.06
5230	SF	0.77 ± 0.03	0.2 ± 0.1	8.21	8.50	8.50	8.51	8.61	8.68	8.69	8.56	8.63 ± 0.04	6825	-0.75	7.59	-1.01 ± 0.03
5486	SF	0.37 ± 0.07	1.0^a	8.25	8.47	8.46	8.52	8.63	8.62	8.63	8.62	8.58 ± 0.03	7375	-0.61	7.57	-0.96 ± 0.05
5533	SF	0.09 ± 0.09	1.0 ± 0.4	8.03	8.24	8.40	8.49	8.59	8.53	8.44	8.46	8.47 ± 0.04	9075	-0.62	7.31	-1.09 ± 0.12
5549	SF	0.45 ± 0.15	1.7 ± 0.4	8.04	8.18	8.25	8.29	8.32	8.31	8.32	...	8.30 ± 0.05	10425	-0.4	6.72	-1.45 ± 0.14
5550	SF	0.51 ± 0.03	0.6 ± 0.1	8.07	8.23	8.30	8.37	8.44	8.38	8.37	...	8.35 ± 0.04	10175	-0.46	6.94	-1.29 ± 0.04
5751	SF	0.57 ± 0.13	1.0^a	8.22	8.60	8.63	8.60	8.74	8.86	8.84	8.81	8.79 ± 0.04	5325	-0.67	8.11	-0.65 ± 0.1
5802	SF	0.13 ± 0.16	1.0^a	8.12	8.29	8.37	8.47	8.51	8.47	8.50	8.47	8.46 ± 0.03	8625	-0.46	7.18	-1.18 ± 0.19
5859	SF	0.96 ± 0.08	1.0 ± 0.1	8.36	8.60	8.50	8.55	8.67	8.70	8.74	8.70	8.66 ± 0.03	6425	-0.62	7.78	-0.84 ± 0.04
5869	SF	0.76 ± 0.03	1.0^a	8.09	8.40	8.50	8.51	8.62	8.68	8.64	8.60	8.60 ± 0.04	7275	-0.84	7.57	-1.01 ± 0.03
5890	C	0.39 ± 0.1	1.0^a	8.38	8.63	8.56	8.64	8.76	8.79	8.79	8.80	8.73 ± 0.03	5825	-0.57	8.05	-0.65 ± 0.05
5909	SF	0.42 ± 0.13	1.0^a	8.48	8.71	8.50	8.51	8.62	8.71	8.80	8.71	8.68 ± 0.04	5975	-0.57	7.72	-0.91 ± 0.06
5957	SF	0.84 ± 0.07	1.0^a	8.31	8.54	8.49	8.55	8.67	8.68	8.68	8.68	8.63 ± 0.03	6875	-0.65	7.75	-0.84 ± 0.04
5963	SF	0.4 ± 0.1	1.0^a	8.23	8.48	8.47	8.51	8.63	8.63	8.63	8.63	8.59 ± 0.03	7325	-0.62	7.62	-0.92 ± 0.06
6057	SF	0.44 ± 0.05	1.3 ± 0.1	8.25	8.54	8.52	8.52	8.64	8.71	8.71	8.66	8.65 ± 0.03	6675	-0.76	7.69	-0.93 ± 0.04
6127	SF	0.26 ± 0.06	3.0 ± 0.2	8.20	8.34	8.32	8.39	8.46	8.42	8.45	8.42	8.41 ± 0.04	8975	-0.39	7.1	-1.19 ± 0.03
6192	SF	0.29 ± 0.08	1.7 ± 0.4	8.18	8.35	8.35	8.42	8.49	8.46	8.49	8.46	8.45 ± 0.03	8625	-0.45	7.18	-1.17 ± 0.09
6216	SF	0.19 ± 0.04	1.0^a	8.09	8.21	8.27	8.36	8.43	8.33	8.28	...	8.31 ± 0.04	10725	-0.3	6.89	-1.27 ± 0.11
6249	SF	0.27 ± 0.09	1.4 ± 0.4	8.37	8.57	8.44	8.47	8.57	8.59	8.67	8.61	8.57 ± 0.04	7175	-0.52	7.48	-1.01 ± 0.03
6406	C	0.5 ± 0.11	1.0^a	8.16	8.40	8.49	8.58	8.69	8.68	8.65	8.68	8.62 ± 0.03	7025	-0.65	7.76	-0.82 ± 0.06
6422	SF	0 ± 0.44	4.7 ± 0.3	7.80	8.15	8.50	8.53	8.64	8.68	8.62	8.62	8.60 ± 0.03	7375	-0.78	7.86	-0.71 ± 0.12
6491	C	1.03 ± 0.05	1.0^a	7.81	8.08	8.51	8.69	8.83	8.69	8.32	8.60	8.58 ± 0.06	8875	-0.82	7.92	-0.62 ± 0.04

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(\text{H}\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$								Te	$[\text{O III}]\log \frac{\text{O}^{++}}{\text{O}^{+}}$	$12+\log(\text{N}/\text{H})$	$\log(\text{N}/\text{O})$	
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T					KN2O2	$\text{OH}_{\text{FINAL}}$
6558	SF	0.65 ± 0.02	1.0^a	8.16	8.40	8.46	8.52	8.62	8.62	8.62	8.59	8.57 ± 0.03	7625	-0.68	7.55	-0.97 ± 0.03
6560	SF	0.29 ± 0.05	0.1 ± 0.3	8.28	8.38	8.27	8.37	8.44	8.34	8.42	...	8.35 ± 0.04	9725	-0.13	6.97	-1.16 ± 0.07
6831	SF	0.28 ± 0.05	1.3 ± 0.3	8.35	8.67	8.56	8.53	8.65	8.76	8.80	8.73	8.71 ± 0.04	5825	-0.67	7.8	-0.88 ± 0.05
6936	SF	0.32 ± 0.15	1.0^a	8.46	8.69	8.50	8.51	8.63	8.70	8.77	8.70	8.67 ± 0.04	6175	-0.58	7.75	-0.87 ± 0.07
7143	SF	0.33 ± 0.23	1.0^a	8.07	8.41	8.53	8.53	8.67	8.75	8.75	8.70	8.68 ± 0.03	6275	-0.74	7.82	-0.84 ± 0.13
7243	SF	0.22 ± 0.05	1.5 ± 0.4	8.16	8.24	8.18	8.19	8.21	8.20	8.25	...	8.20 ± 0.06	11325	-0.2	6.47	-1.53 ± 0.09
7365	SF	0.61 ± 0.07	1.0^a	8.23	8.44	8.42	8.47	8.57	8.55	8.57	8.55	8.52 ± 0.03	7925	-0.57	7.4	-1.05 ± 0.05
7373	SF	0.46 ± 0.03	1.0 ± 0.1	8.42	8.67	8.53	8.57	8.69	8.74	8.81	8.76	8.71 ± 0.03	5825	-0.5	7.88	-0.77 ± 0.03
7444	SF	0.28 ± 0.17	1.0^a	8.46	8.62	8.44	8.51	8.62	8.60	8.67	8.65	8.59 ± 0.03	7075	-0.44	7.57	-0.94 ± 0.06
7460	SF	0.45 ± 0.07	1.0^a	8.43	8.66	8.51	8.54	8.65	8.72	8.78	8.72	8.68 ± 0.03	6025	-0.58	7.82	-0.83 ± 0.05
7644	SF	0.3 ± 0.07	2.1 ± 0.3	8.33	8.49	8.41	8.49	8.58	8.54	8.56	8.58	8.52 ± 0.03	7875	-0.45	7.42	-1.01 ± 0.03
7647	C	0.29 ± 0.1	1.0^a	8.47	8.66	8.50	8.58	8.70	8.68	8.75	8.69	8.64 ± 0.03	6275	-0.35	7.83	-0.71 ± 0.06
7701	SF	0.75 ± 0.07	1.2 ± 0.1	8.16	8.43	8.48	8.52	8.63	8.65	8.65	8.63	8.60 ± 0.03	7175	-0.68	7.59	-0.97 ± 0.03
7835	SF	0.47 ± 0.06	1.0^a	7.93	8.15	8.32	8.36	8.43	8.42	8.34	...	8.35 ± 0.04	10425	-0.65	6.91	-1.37 ± 0.04
7847	C	0.09 ± 0.1	1.0^a	8.69	8.89	8.64	8.67	8.81	8.89	8.86	8.92	8.83 ± 0.04	4975	-0.11	8.23	-0.19 ± 0.08
7857	SF	0.49 ± 0.05	1.0^a	8.18	8.38	8.38	8.43	8.53	8.51	8.55	8.48	8.49 ± 0.04	8475	-0.57	7.27	-1.15 ± 0.04
7876	SF	0.39 ± 0.05	1.0^a	8.32	8.58	8.53	8.58	8.70	8.73	8.73	8.73	8.68 ± 0.03	6425	-0.63	7.85	-0.79 ± 0.04
7919	SF	0.93 ± 0.1	1.0^a	7.99	8.27	8.45	8.50	8.59	8.60	8.54	8.54	8.54 ± 0.03	8025	-0.75	7.46	-1.04 ± 0.07
8128	SF	0.38 ± 0.06	2.9 ± 0.3	8.21	8.41	8.40	8.45	8.55	8.53	8.55	8.53	8.50 ± 0.03	8075	-0.54	7.36	-1.07 ± 0.04
8151	SF	0.19 ± 0.04	1.0^a	...	...	8.42	8.50	8.60	8.55	...	...	8.52 ± 0.03	$... \pm ...$
8254	SF	0.12 ± 0.04	1.1 ± 0.4	8.23	8.35	8.33	8.45	8.53	8.42	8.44	8.47	8.42 ± 0.03	9225	-0.28	7.21	-1.05 ± 0.08
8495	C	0.38 ± 0.09	1.0^a	8.22	8.50	8.57	8.66	8.79	8.79	8.74	8.79	8.72 ± 0.03	6175	-0.64	8.07	-0.62 ± 0.05
8555	SF	0.25 ± 0.04	1.0^a	8.38	8.67	8.54	8.52	8.64	8.75	8.79	8.75	8.71 ± 0.04	5675	-0.54	7.82	-0.84 ± 0.03
8598	SF	0.24 ± 0.07	1.0^a	8.43	8.56	8.41	8.52	8.62	8.55	8.66	8.60	8.55 ± 0.03	7325	-0.26	7.53	-0.87 ± 0.04
8651	C	0.45 ± 0.16	1.0^a	7.96	8.15	8.38	8.51	8.55	8.48	8.48	8.48	8.47 ± 0.04	9025	-0.49	7.28	-1.09 ± 0.24
8700	SF	0.45 ± 0.31	1.0^a	8.56	8.73	8.50	8.56	8.69	8.69	8.76	8.74	8.67 ± 0.03	6225	-0.46	7.81	-0.79 ± 0.07
8705	SF	0.31 ± 0.26	1.0^a	8.44	8.59	8.44	8.51	8.60	8.57	8.60	8.60	8.55 ± 0.03	7575	-0.5	7.48	-1 ± 0.09
8719	SF	0.33 ± 0.01	3.7 ± 0.1	8.14	8.21	8.16	8.15	8.17	8.18	8.23	...	8.18 ± 0.06	11125	-0.09	6.42	-1.51 ± 0.04
8742	SF	0.52 ± 0.09	1.0^a	8.08	8.29	8.39	8.46	8.56	8.53	8.51	8.51	8.50 ± 0.03	8325	-0.59	7.34	-1.08 ± 0.06
8921	SF	0.36 ± 0.08	2.6 ± 0.2	8.13	8.40	8.47	8.50	8.60	8.64	8.64	8.60	8.58 ± 0.03	7325	-0.7	7.59	-0.95 ± 0.04
9045	C	0.34 ± 0.12	1.0^a	8.19	8.44	8.50	8.59	8.70	8.70	8.70	8.71	8.65 ± 0.03	6675	-0.61	7.82	-0.78 ± 0.09
9133	C	0.58 ± 0.1	1.0^a	8.43	8.68	8.57	8.61	8.73	8.79	8.78	8.79	8.73 ± 0.03	5725	-0.59	8	-0.69 ± 0.03
9155	SF	0.55 ± 0.09	1.0^a	8.26	8.53	8.51	8.54	8.67	8.68	8.68	8.68	8.64 ± 0.03	6875	-0.64	7.74	-0.85 ± 0.08
9962	SF	1.03 ± 0.14	1.0^a	8.00	8.35	8.53	8.53	8.65	8.70	8.66	8.64	8.63 ± 0.04	7025	-0.84	7.73	-0.88 ± 0.06
10096	SF	0.38 ± 0.04	1.0^a	8.08	8.33	8.45	8.52	8.62	8.61	8.60	8.58	8.56 ± 0.03	7775	-0.68	7.53	-0.99 ± 0.03
10299	SF	0.31 ± 0.07	3.8 ± 0.4	8.03	8.19	8.28	8.33	8.39	8.35	8.32	...	8.32 ± 0.04	10675	-0.47	6.88	-1.32 ± 0.08
10449	SF	0.38 ± 0.08	1.0^a	8.15	8.33	8.35	8.41	8.49	8.46	8.50	8.42	8.43 ± 0.04	8925	-0.52	7.18	-1.17 ± 0.03
10550	SF	0.34 ± 0.1	1.9 ± 0.3	8.41	8.65	8.51	8.52	8.63	8.70	8.77	8.70	8.67 ± 0.04	6225	-0.59	7.75	-0.87 ± 0.03
10805	SF	0.79 ± 0.01	0.3 ± 0.1	8.10	8.38	8.47	8.51	8.61	8.64	8.63	8.57	8.58 ± 0.03	7575	-0.78	7.49	-1.06 ± 0.03
11026	SF	0.34 ± 0.18	1.0^a	8.36	8.48	8.33	8.41	8.50	8.42	8.50	8.47	8.43 ± 0.04	8925	-0.3	7.24	-1.06 ± 0.06
11067	SF	-0.14 ± 0.08	1.0^a	8.33	8.48	8.38	8.46	8.55	8.50	8.60	8.52	8.48 ± 0.03	8125	-0.35	7.37	-0.98 ± 0.07
11172	SF	0.45 ± 0.02	1.0^a	8.20	8.39	8.41	8.49	8.58	8.55	8.58	8.55	8.53 ± 0.03	8075	-0.56	7.41	-1.04 ± 0.03
11300	SF	0 ± 0.16	1.0^a	7.87	8.12	8.39	8.45	8.58	8.56	8.52	8.50	8.50 ± 0.04	8575	-0.67	7.39	-1.07 ± 0.1

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(H\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(O/H)$								$Te [O III] \log \frac{O^{++}}{O^+}$	$12 + \log(N/H)$	$\log(N/O)$		
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T				KN2O2	OH _{FINAL}
11311	C	0.59 ± 0.19	1.0^a	8.07	8.23	8.44	8.66	8.79	8.62	8.55	8.74	8.61 \pm 0.09	7625	-0.36	7.91	-0.61 ± 0.03
11858	SF	0.52 ± 0.04	1.0^a	8.06	8.33	8.46	8.49	8.60	8.62	8.56	8.56	8.55 \pm 0.03	7825	-0.77	7.46	-1.06 ± 0.03
12199	SF	1.03 ± 0.12	1.0^a	8.26	8.62	8.60	8.57	8.70	8.81	8.79	8.78	8.75 \pm 0.04	5525	-0.66	8	-0.7 ± 0.03
12780	SF	0.39 ± 0.16	1.0^a	8.19	8.54	8.59	8.60	8.73	8.80	8.80	8.79	8.75 \pm 0.03	5775	-0.63	8.12	-0.57 ± 0.14
12804	SF	0.18 ± 0.02	1.7 ± 0.2	8.12	8.28	8.33	8.41	8.48	8.43	8.43	8.40	8.41 \pm 0.03	9475	-0.45	7.13	-1.16 ± 0.03
12841	C	0.25 ± 0.12	1.0^a	8.41	8.57	8.49	8.64	8.77	8.66	8.69	8.70	8.64 \pm 0.03	6825	-0.32	7.92	-0.6 ± 0.09
12856	SF	0.38 ± 0.07	1.0 ± 0.3	8.23	8.47	8.45	8.46	8.59	8.60	8.61	8.58	8.55 \pm 0.03	7575	-0.63	7.49	-1.01 ± 0.1
12860	SF	0.77 ± 0.09	1.0^a	8.04	8.42	8.58	8.56	8.68	8.79	8.71	8.68	8.69 \pm 0.05	6525	-0.96	7.8	-0.88 ± 0.05
12879	SF	0.3 ± 0.1	1.0^a	8.26	8.37	8.28	8.35	8.39	8.34	8.39	...	8.35 \pm 0.04	9575	-0.24	6.89	-1.28 ± 0.07
12881	SF	0.27 ± 0.15	1.0^a	8.47	8.73	8.55	8.54	8.68	8.77	8.82	8.77	8.73 \pm 0.04	5625	-0.55	7.9	-0.78 ± 0.1
12927	SF	0.46 ± 0.05	1.0^a	8.55	8.73	8.51	8.58	8.70	8.69	8.78	8.73	8.67 \pm 0.03	5925	-0.23	7.9	-0.62 ± 0.03
12930	SF	0.05 ± 0.02	1.0^a	8.64	8.86	8.59	8.58	8.69	8.81	8.85	8.82	8.78 \pm 0.04	4975	-0.16	8.07	-0.44 ± 0.1
12950	SF	0 ± 0.05	2.3 ± 0.4	8.09	8.30	8.40	8.47	8.56	8.54	8.56	8.51	8.51 \pm 0.03	8325	-0.59	7.38	-1.07 ± 0.03
12977	SF	0.14 ± 0.05	1.0 ± 0.4	8.05	8.22	8.33	8.41	8.49	8.43	8.38	8.38	8.39 \pm 0.04	9825	-0.5	7.06	-1.24 ± 0.07
12983	SF	0.6 ± 0.05	1.0^a	8.28	8.58	8.54	8.55	8.66	8.74	8.76	8.73	8.69 \pm 0.03	6025	-0.63	7.83	-0.82 ± 0.03
13005	C	0.47 ± 0.12	1.0^a	8.02	8.25	8.44	8.55	8.66	8.60	8.58	8.61	8.57 \pm 0.03	7825	-0.61	7.6	-0.92 ± 0.04
13025	SF	0.01 ± 0.05	2.8 ± 0.4	8.46	8.81	8.64	8.54	8.65	8.88	8.94	8.85	8.83 \pm 0.05	4975	-0.54	8.04	-0.56 ± 0.04
13044	SF	0.03 ± 0.06	1.0^a	8.26	8.50	8.48	8.53	8.64	8.64	8.64	8.64	8.60 \pm 0.03	7225	-0.61	7.61	-0.93 ± 0.05
13051	SF	0.7 ± 0.04	1.0^a	8.18	8.43	8.46	8.51	8.62	8.62	8.62	8.61	8.58 \pm 0.03	7375	-0.64	7.54	-0.99 ± 0.03
13070	SF	0.22 ± 0.1	1.0^a	8.13	8.44	8.52	8.53	8.65	8.71	8.70	8.67	8.65 \pm 0.03	6725	-0.73	7.73	-0.88 ± 0.03
13072	SF	0.46 ± 0.03	1.0^a	8.38	8.47	8.28	8.41	8.49	8.36	8.49	8.50	8.44 \pm 0.04	8725	0.01	7.14	-1.04 ± 0.03
13099	SF	0.02 ± 0.07	3.4 ± 0.4	8.64	8.83	8.55	8.57	8.69	8.75	8.82	8.79	8.75 \pm 0.03	5075	-0.09	8.09	-0.48 ± 0.07
13152	SF	0.35 ± 0.04	1.6 ± 0.2	8.14	8.27	8.28	8.34	8.41	8.35	8.37	...	8.33 \pm 0.04	10275	-0.36	6.89	-1.3 ± 0.06
13254	SF	0.14 ± 0.03	1.0^a	8.31	8.58	8.51	8.53	8.65	8.70	8.74	8.70	8.66 \pm 0.03	6325	-0.59	7.74	-0.87 ± 0.03
13305	SF	0.23 ± 0.03	2.7 ± 0.2	8.26	8.41	8.37	8.45	8.53	8.49	8.52	8.53	8.48 \pm 0.03	8275	-0.4	7.31	-1.06 ± 0.03
13323	SF	0.28 ± 0.11	1.8 ± 0.2	7.99	8.25	8.42	8.46	8.55	8.56	8.50	8.50	8.50 \pm 0.03	8375	-0.68	7.35	-1.09 ± 0.03
13334	SF	0.32 ± 0.11	1.0^a	8.43	8.74	8.57	8.52	8.64	8.80	8.87	8.79	8.76 \pm 0.04	5125	-0.47	7.91	-0.78 ± 0.09
13344	C	0.8 ± 0.07	1.0^a	8.22	8.47	8.52	8.62	8.74	8.71	8.70	8.74	8.67 \pm 0.02	6575	-0.58	7.89	-0.73 ± 0.03
13354	SF	0.48 ± 0.09	2.4 ± 0.1	8.33	8.57	8.50	8.56	8.67	8.69	8.69	8.69	8.64 \pm 0.03	6725	-0.63	7.76	-0.84 ± 0.03
13357	SF	0.27 ± 0.09	1.0 ± 0.4	8.28	8.53	8.48	8.51	8.66	8.68	8.69	8.68	8.63 \pm 0.03	6775	-0.61	7.77	-0.82 ± 0.12
13460	SF	0.53 ± 0.17	1.0 ± 0.4	8.12	8.26	8.23	8.25	8.29	8.28	8.29	...	8.28 \pm 0.05	10975	-0.39	6.61	-1.53 ± 0.16
13465	SF	0.35 ± 0.04	1.0^a	8.07	8.24	8.35	8.45	8.53	8.46	8.41	8.42	8.43 \pm 0.03	9475	-0.52	7.18	-1.15 ± 0.04
13476	SF	0.4 ± 0.11	1.0^a	8.14	8.31	8.38	8.48	8.54	8.49	8.51	8.51	8.48 \pm 0.03	8475	-0.48	7.39	-1 ± 0.11
13477	SF	0.56 ± 0.03	0.3 ± 0.1	7.98	8.14	8.25	8.29	8.35	8.31	8.26	...	8.28 \pm 0.05	11225	-0.46	6.69	-1.47 ± 0.06
13529	SF	-0.25 ± 0.1	1.0^a	8.50	8.63	8.34	8.34	8.40	8.44	8.70	8.47	8.41 \pm 0.06	7825	-0.23	7.08	-1.15 ± 0.1
13610	SF	0.65 ± 0.03	1.0^a	8.26	8.47	8.45	8.52	8.62	8.61	8.65	8.62	8.59 \pm 0.03	7375	-0.59	7.55	-0.97 ± 0.03
13646	SF	0.57 ± 0.05	0.1 ± 0.2	8.03	8.23	8.37	8.46	8.55	8.49	8.42	8.43	8.44 \pm 0.04	9375	-0.59	7.2	-1.16 ± 0.05
13689	SF	0.54 ± 0.02	0.8 ± 0.1	8.29	8.55	8.49	8.53	8.63	8.67	8.72	8.67	8.64 \pm 0.03	6625	-0.62	7.67	-0.93 ± 0.03
13727	SF	0.64 ± 0.06	0.7 ± 0.2	8.04	8.26	8.39	8.45	8.54	8.52	8.47	8.43	8.45 \pm 0.04	9075	-0.67	7.23	-1.16 ± 0.05
13734	SF	0.29 ± 0.17	4.2 ± 0.4	8.35	8.55	8.46	8.51	8.62	8.62	8.63	8.62	8.58 \pm 0.03	7375	-0.6	7.49	-1.03 ± 0.07
13736	SF	0.04 ± 0.13	1.0^a	8.07	8.28	8.39	8.45	8.56	8.54	8.53	8.53	8.50 \pm 0.03	8225	-0.55	7.39	-1.04 ± 0.09
13796	SF	0.07 ± 0.24	1.0^a	8.08	8.35	8.48	8.54	8.64	8.64	8.64	8.64	8.60 \pm 0.02	7175	-0.61	7.82	-0.73 ± 0.12
13830	C	0.77 ± 0.09	1.0^a	8.28	8.53	8.52	8.60	8.70	8.71	8.71	8.72	8.66 \pm 0.03	6575	-0.63	7.86	-0.76 ± 0.11

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(\text{H}\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$								$Te [\text{O III}]\log \frac{\text{O}^{++}}{\text{O}^{+}}$		$12+\log(\text{N}/\text{H})$	$\log(\text{N}/\text{O})$	
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T	KN2O2	OH_{FINAL}			
13835	SF	0.23 ± 0.08	1.8 ± 0.2	8.20	8.46	8.50	8.56	8.67	8.68	8.68	8.68	8.64 ± 0.03	6825	-0.63	7.77	-0.82 ± 0.04
13861	SF	0.35 ± 0.22	1.0^a	8.25	8.38	8.34	8.44	8.50	8.44	8.50	8.48	8.44 ± 0.04	8675	-0.35	7.2	-1.12 ± 0.21
13896	SF	0.07 ± 0.15	1.2 ± 0.4	8.18	8.32	8.37	8.48	8.58	8.48	8.46	8.49	8.45 ± 0.03	8975	-0.4	7.3	-1.04 ± 0.08
13897	SF	0.37 ± 0.05	1.2 ± 0.2	8.22	8.47	8.48	8.54	8.65	8.66	8.66	8.66	8.62 ± 0.03	7075	-0.63	7.66	-0.9 ± 0.03
14050	SF	0.19 ± 0.01	1.0 ± 0.1	8.21	8.26	8.17	8.20	8.24	8.18	8.26	...	8.22 ± 0.06	10825	0.1	6.52	-1.35 ± 0.03
14074	SF	0.41 ± 0.05	0.6 ± 0.2	8.06	8.20	8.28	8.35	8.41	8.35	8.33	...	8.33 ± 0.04	10475	-0.42	6.88	-1.33 ± 0.11
14113	C	1 ± 0.17	1.0^a	8.47	8.68	8.52	8.59	8.70	8.71	8.72	8.72	8.67 ± 0.03	6475	-0.62	7.88	-0.74 ± 0.11
14250	SF	0.28 ± 0.28	2.3 ± 0.2	8.01	8.28	8.47	8.54	8.65	8.64	8.65	8.64	8.60 ± 0.02	7175	-0.62	7.69	-0.86 ± 0.07
14311	SF	0.66 ± 0.24	2.2 ± 0.2	8.06	8.34	8.48	8.53	8.65	8.65	8.65	8.65	8.61 ± 0.03	7075	-0.63	7.73	-0.84 ± 0.14
14331	SF	0.39 ± 0.06	1.0 ± 0.3	8.04	8.18	8.26	8.32	8.37	8.32	8.28	...	8.30 ± 0.05	10925	-0.39	6.78	-1.38 ± 0.06
14343	SF	0.37 ± 0.1	1.0^a	8.31	8.45	8.39	8.49	8.55	8.50	8.54	8.55	8.50 ± 0.03	8125	-0.4	7.37	-1.02 ± 0.11
14377	SF	0.25 ± 0.09	1.0^a	8.26	8.55	8.55	8.60	8.73	8.76	8.76	8.76	8.71 ± 0.03	6125	-0.62	7.96	-0.71 ± 0.1
14397	SF	0.59 ± 0.12	1.0^a	8.49	8.65	8.45	8.52	8.64	8.63	8.72	8.69	8.62 ± 0.04	6625	-0.44	7.69	-0.86 ± 0.05
14500	SF	0.46 ± 0.09	1.0^a	8.17	8.31	8.36	8.49	8.57	8.48	8.52	8.54	8.49 ± 0.04	8525	-0.37	7.34	-1.04 ± 0.04
14522	SF	0.53 ± 0.1	1.0^a	8.32	8.65	8.59	8.57	8.70	8.81	8.80	8.80	8.75 ± 0.04	5425	-0.58	8.01	-0.69 ± 0.05
14524	SF	0.79 ± 0.07	1.0^a	8.32	8.72	8.63	8.53	8.64	8.87	8.89	8.79	8.79 ± 0.06	4975	-0.71	7.96	-0.79 ± 0.05
14525	SF	0.6 ± 0.04	0.5 ± 0.1	8.03	8.25	8.40	8.49	8.59	8.53	8.45	8.47	8.47 ± 0.03	9025	-0.64	7.31	-1.09 ± 0.03
14548	SF	0.56 ± 0.03	1.0 ± 0.1	8.29	8.54	8.49	8.52	8.64	8.66	8.69	8.66	8.62 ± 0.03	6825	-0.62	7.65	-0.93 ± 0.03
14554	SF	0.29 ± 0.04	1.8 ± 0.2	8.27	8.42	8.36	8.44	8.52	8.48	8.52	8.51	8.47 ± 0.03	8325	-0.41	7.28	-1.09 ± 0.05
14624	SF	0.58 ± 0.12	1.0^a	8.32	8.62	8.54	8.53	8.69	8.75	8.75	8.72	8.69 ± 0.03	6225	-0.69	7.91	-0.76 ± 0.13
14644	SF	0.58 ± 0.23	1.0^a	8.09	8.40	8.48	8.47	8.60	8.66	8.66	8.59	8.60 ± 0.04	7125	-0.78	7.52	-1.06 ± 0.06
14735	SF	0.56 ± 0.12	1.0^a	8.21	8.50	8.50	8.52	8.64	8.68	8.68	8.65	8.63 ± 0.03	6925	-0.71	7.67	-0.92 ± 0.06
14784	C	0.57 ± 0.07	1.0^a	8.25	8.46	8.48	8.60	8.73	8.66	8.64	8.63	8.60 ± 0.03	7325	-0.54	7.79	-0.74 ± 0.07
14826	SF	0.01 ± 0.09	1.0^a	8.31	8.57	8.52	8.56	8.67	8.70	8.70	8.69	8.65 ± 0.03	6675	-0.65	7.74	-0.87 ± 0.03
14846	SF	0.59 ± 0.08	1.0^a	8.21	8.63	8.65	8.56	8.68	8.90	8.85	8.77	8.79 ± 0.06	5275	-0.9	8.06	-0.72 ± 0.07
14894	C	0.87 ± 0.13	0.1 ± 0.3	8.13	8.38	8.49	8.59	8.71	8.66	8.59	8.59	8.56 ± 0.03	7775	-0.7	7.64	-0.87 ± 0.05
14965	SF	0.32 ± 0.1	1.0^a	8.03	8.22	8.28	8.27	8.32	8.35	8.32	...	8.32 ± 0.05	10325	-0.56	6.75	-1.48 ± 0.11
14972	SF	0.67 ± 0.07	1.0^a	7.80	8.13	8.48	8.54	8.65	8.65	8.51	8.54	8.56 ± 0.05	8425	-0.92	7.53	-1.01 ± 0.03
15006	SF	0.79 ± 0.08	1.0^a	8.29	8.57	8.54	8.57	8.70	8.74	8.74	8.74	8.69 ± 0.03	6275	-0.64	7.86	-0.78 ± 0.03
15057	SF	0.17 ± 0.09	1.8 ± 0.4	8.20	8.30	8.23	8.28	8.31	8.27	8.31	...	8.27 ± 0.05	10425	-0.2	6.7	-1.38 ± 0.09
15101	SF	0.33 ± 0.06	1.0^a	8.07	8.30	8.41	8.46	8.56	8.55	8.51	8.51	8.50 ± 0.03	8275	-0.65	7.34	-1.11 ± 0.04
15129	SF	0.65 ± 0.21	1.0^a	8.21	8.52	8.52	8.54	8.70	8.73	8.73	8.72	8.68 ± 0.03	6425	-0.66	7.89	-0.75 ± 0.11
15132	SF	0.36 ± 0.03	1.1 ± 0.1	8.07	8.18	8.21	8.26	8.30	8.25	8.23	...	8.24 ± 0.05	11575	-0.31	6.63	-1.46 ± 0.04
15136	SF	0.51 ± 0.02	0.8 ± 0.1	8.51	8.78	8.59	8.58	8.69	8.81	8.84	8.76	8.75 ± 0.04	5075	-0.37	8.02	-0.63 ± 0.03
15160	SF	0.69 ± 0.14	1.0^a	8.41	8.60	8.47	8.54	8.66	8.64	8.68	8.68	8.62 ± 0.02	6875	-0.54	7.69	-0.86 ± 0.06
15198	SF	0.32 ± 0.17	1.0^a	8.06	8.33	8.44	8.46	8.59	8.61	8.61	8.57	8.55 ± 0.03	7625	-0.69	7.46	-1.06 ± 0.09
15219	SF	0.49 ± 0.1	1.0^a	8.14	8.51	8.61	8.60	8.73	8.83	8.77	8.76	8.74 ± 0.04	5975	-0.85	8	-0.72 ± 0.05
15234	SF	0.57 ± 0.07	1.0^a	...	...	8.64	8.58	8.70	8.88	...	...	8.82 ± 0.06	$... \pm ...$
15239	SF	0.86 ± 0.17	1.0^a	7.96	8.26	8.46	8.50	8.62	8.63	8.60	8.60	8.57 ± 0.03	7575	-0.72	7.61	-0.92 ± 0.1
15260	SF	0.58 ± 0.21	1.0^a	8.03	8.30	8.49	8.57	8.66	8.65	8.63	8.65	8.61 ± 0.03	7225	-0.65	7.72	-0.84 ± 0.12
15268	SF	0.11 ± 0.08	3.4 ± 0.4	8.27	8.39	8.32	8.40	8.46	8.40	8.46	8.45	8.41 ± 0.04	8925	-0.27	7.16	-1.09 ± 0.08
15301	C	0.08 ± 0.14	1.0^a	8.25	8.50	8.53	8.61	8.71	8.74	8.74	8.74	8.69 ± 0.03	6275	-0.61	7.92	-0.73 ± 0.1
15303	SF	0.55 ± 0.06	1.0^a	8.11	8.38	8.48	8.54	8.66	8.65	8.64	8.63	8.60 ± 0.03	7325	-0.69	7.64	-0.92 ± 0.03

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(\text{H}\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$							T_e [O III]log $\frac{\text{O}^{++}}{\text{O}^+}$	$12+\log(\text{N}/\text{H})$	$\log(\text{N}/\text{O})$			
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c				KK04T	KN2O2	OH _{FINAL}
15324	SF	0.61 ± 0.08	1.6 ± 0.1	8.12	8.33	8.38	8.42	8.51	8.51	8.51	8.46	8.47 ± 0.03	8475	-0.59	7.25	-1.15 ± 0.04
15351	SF	0.61 ± 0.08	1.0 ± 0.3	8.28	8.49	8.46	8.55	8.65	8.63	8.63	8.65	8.60 ± 0.02	7225	-0.57	7.64	-0.9 ± 0.05
15359	SF	0.5 ± 0.16	2.0 ± 0.1	8.08	8.38	8.49	8.51	8.62	8.67	8.67	8.63	8.61 ± 0.03	7025	-0.72	7.63	-0.95 ± 0.04
15421	SF	-0.05 ± 0.02	1.0^a	8.36	8.61	8.50	8.49	8.59	8.67	8.75	8.60	8.63 ± 0.04	6375	-0.57	7.62	-0.95 ± 0.03
15423	SF	0.76 ± 0.08	1.0^a	8.04	8.36	8.52	8.55	8.67	8.71	8.66	8.64	8.63 ± 0.03	7125	-0.84	7.71	-0.9 ± 0.03
15443	SF	0.42 ± 0.11	1.0^a	8.14	8.41	8.49	8.55	8.65	8.65	8.65	8.65	8.61 ± 0.02	7125	-0.63	7.66	-0.9 ± 0.08
15454	SF	1.26 ± 0.12	1.0^a	7.78	8.19	8.61	8.61	8.74	8.83	8.61	8.66	8.68 ± 0.08	7325	-1.22	7.83	-0.84 ± 0.03
15459	SF	0.19 ± 0.04	1.0^a	8.13	8.27	8.29	8.37	8.44	8.37	8.38	...	8.35 ± 0.04	10075	-0.36	6.99	-1.23 ± 0.1
15461	SF	0.26 ± 0.16	1.0^a	8.25	8.58	8.58	8.59	8.74	8.82	8.82	8.81	8.75 ± 0.03	5525	-0.58	8.14	-0.58 ± 0.12
15467	SF	0.28 ± 0.03	1.0^a	8.45	8.75	8.57	8.52	8.64	8.78	8.82	8.78	8.74 ± 0.04	5225	-0.48	7.89	-0.79 ± 0.03
15503	C	1 ± 0.11	1.0^a	7.83	8.12	8.47	8.57	8.71	8.65	8.51	8.60	8.56 ± 0.05	8475	-0.82	7.61	-0.91 ± 0.05
15508	SF	0.05 ± 0.08	1.0^a	8.09	8.35	8.45	8.50	8.61	8.61	8.59	8.59	8.56 ± 0.03	7625	-0.64	7.61	-0.9 ± 0.06
15516	SF	0.05 ± 0.12	1.0^a	8.21	8.37	8.38	8.47	8.55	8.50	8.55	8.50	8.49 ± 0.03	8475	-0.5	7.32	-1.09 ± 0.09
15558	SF	0.26 ± 0.02	0.7 ± 0.1	8.21	8.30	8.21	8.28	8.33	8.25	8.31	...	8.28 ± 0.05	10725	-0.1	6.71	-1.34 ± 0.05
15568	SF	0.21 ± 0.09	1.0^a	8.39	8.78	8.66	8.54	8.66	8.90	8.86	8.85	8.82 ± 0.05	4975	-0.62	8.04	-0.59 ± 0.03
15584	C	1.25 ± 0.24	1.0^a	8.19	8.49	8.55	8.64	8.76	8.79	8.78	8.79	8.73 ± 0.03	5875	-0.61	8.02	-0.67 ± 0.13
15587	C	0.29 ± 0.07	1.6 ± 0.4	8.34	8.52	8.48	8.62	8.75	8.66	8.66	8.67	8.62 ± 0.03	7075	-0.42	7.85	-0.67 ± 0.05
15704	C	0.89 ± 0.23	1.0^a	8.48	8.64	8.46	8.56	8.65	8.61	8.65	8.67	8.60 ± 0.03	7125	-0.46	7.69	-0.83 ± 0.08
15755	C	0.59 ± 0.03	2.9 ± 0.1	8.26	8.51	8.51	8.59	8.70	8.70	8.70	8.72	8.66 ± 0.03	6625	-0.61	7.84	-0.77 ± 0.03
15779	SF	0.57 ± 0.1	1.0^a	8.62	8.81	8.51	8.51	8.61	8.69	8.82	8.72	8.73 ± 0.04	5225	-0.14	7.87	-0.69 ± 0.1
15784	SF	0.14 ± 0.05	0.6 ± 0.4	8.25	8.51	8.48	8.51	8.61	8.66	8.69	8.63	8.62 ± 0.03	6875	-0.66	7.59	-0.98 ± 0.04
15805	SF	0.61 ± 0.11	1.7 ± 0.2	8.37	8.66	8.56	8.56	8.68	8.76	8.78	8.73	8.71 ± 0.03	5975	-0.67	7.87	-0.81 ± 0.03
15814	SF	0.35 ± 0.04	3.3 ± 0.2	8.25	8.40	8.33	8.38	8.46	8.43	8.46	8.42	8.42 ± 0.04	8925	-0.43	7.15	-1.15 ± 0.03
15829	SF	0.57 ± 0.05	0.5 ± 0.2	8.13	8.12	8.12	8.11	8.12	8.11	8.15	...	8.12 ± 0.06	12275	0.01	6.21	-1.59 ± 0.16
15868	SF	0.32 ± 0.13	1.0 ± 0.4	8.32	8.66	8.59	8.54	8.67	8.76	8.78	8.73	8.72 ± 0.04	6025	-0.7	7.83	-0.85 ± 0.06
15872	SF	0.05 ± 0.1	1.0^a	8.23	8.49	8.47	8.48	8.60	8.63	8.63	8.59	8.58 ± 0.03	7425	-0.67	7.54	-0.99 ± 0.07
15874	SF	0.43 ± 0.08	1.0^a	8.22	8.39	8.38	8.47	8.55	8.51	8.55	8.54	8.49 ± 0.03	8125	-0.46	7.34	-1.06 ± 0.07
15892	C	0.93 ± 0.06	1.0^a	8.14	8.41	8.50	8.58	8.70	8.68	8.64	8.68	8.63 ± 0.03	7075	-0.68	7.78	-0.81 ± 0.04
15901	SF	0.29 ± 0.05	2.0 ± 0.3	8.11	8.24	8.26	8.33	8.39	8.33	8.33	...	8.31 ± 0.04	10575	-0.33	6.88	-1.28 ± 0.06
15950	C	0.38 ± 0.09	1.0^a	8.28	8.56	8.57	8.64	8.77	8.79	8.75	8.79	8.73 ± 0.03	5975	-0.62	8.06	-0.63 ± 0.03
15987	SF	0.07 ± 0.09	4.9 ± 0.4	8.14	8.30	8.32	8.37	8.47	8.42	8.43	8.42	8.41 ± 0.04	9125	-0.4	7.13	-1.16 ± 0.07
16021	C	0.39 ± 0.1	1.0^a	8.00	8.30	8.51	8.59	8.70	8.67	8.58	8.66	8.61 ± 0.04	7525	-0.72	7.78	-0.78 ± 0.06
16069	SF	0.82 ± 0.1	1.4 ± 0.1	8.41	8.69	8.55	8.55	8.67	8.75	8.80	8.74	8.71 ± 0.03	5875	-0.6	7.88	-0.79 ± 0.04
16073	SF	0.25 ± 0.06	1.0^a	8.25	8.40	8.37	8.46	8.54	8.49	8.53	8.54	8.48 ± 0.03	8175	-0.39	7.32	-1.06 ± 0.04
16093	SF	0.6 ± 0.06	1.0^a	8.19	8.43	8.44	8.48	8.60	8.59	8.59	8.58	8.55 ± 0.03	7625	-0.63	7.47	-1.03 ± 0.08
16099	SF	1.06 ± 0.11	1.0^a	8.28	8.55	8.51	8.54	8.66	8.69	8.69	8.66	8.64 ± 0.03	6825	-0.73	7.71	-0.9 ± 0.03
16116	SF	0.23 ± 0.05	1.0^a	8.05	8.23	8.31	8.34	8.40	8.39	8.40	...	8.37 ± 0.04	9925	-0.53	6.91	-1.36 ± 0.05
16163	SF	0.32 ± 0.05	1.0^a	8.22	8.51	8.53	8.56	8.68	8.72	8.72	8.71	8.67 ± 0.03	6475	-0.67	7.82	-0.81 ± 0.03
16199	SF	0.31 ± 0.16	1.0^a	8.44	8.59	8.40	8.47	8.58	8.53	8.60	8.60	8.54 ± 0.03	7625	-0.36	7.45	-0.97 ± 0.07
16232	C	0.53 ± 0.21	1.0^a	8.33	8.53	8.52	8.66	8.80	8.71	8.68	8.70	8.66 ± 0.03	6775	-0.47	8.05	-0.53 ± 0.1
16236	SF	0.81 ± 0.03	1.0 ± 0.1	8.03	8.27	8.40	8.46	8.55	8.54	8.49	8.44	8.47 ± 0.04	8825	-0.71	7.26	-1.15 ± 0.03
16237	SF	0.72 ± 0.21	1.0^a	8.22	8.43	8.42	8.48	8.58	8.56	8.58	8.56	8.53 ± 0.03	7925	-0.57	7.43	-1.03 ± 0.1
16314	SF	0.35 ± 0.1	1.0^a	7.67	7.88	8.32	8.44	8.50	8.41	8.28	...	8.38 ± 0.09	10925	-0.57	7.06	-1.24 ± 0.06

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(\text{H}\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$								T_e	$[\text{O III}]\log \frac{\text{O}^{++}}{\text{O}^{+}}$	$12+\log(\text{N}/\text{H})$	$\log(\text{N}/\text{O})$	
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T					KN2O2	$\text{OH}_{\text{FINAL}}$
16352	SF	0.2 ± 0.07	1.0^a	8.23	8.39	8.38	8.47	8.57	8.52	8.57	8.54	8.51 ± 0.03	8225	-0.48	7.39	-1.03 ± 0.05
16414	SF	0.51 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.13	8.25	8.28	8.36	8.43	8.35	8.35	...	8.33 ± 0.04	10375	-0.33	6.91	-1.27 ± 0.03
16458	C	0.4 ± 0.12	1.5 ± 0.1	8.23	8.38	8.42	8.58	8.69	8.57	8.59	8.68	8.58 ± 0.05	7575	-0.33	7.68	-0.79 ± 0.03
16472	C	0.61 ± 0.15	1.0^a	8.20	8.43	8.51	8.64	8.77	8.69	8.62	8.65	8.61 ± 0.03	7375	-0.6	7.9	-0.65 ± 0.09
16477	C	0.54 ± 0.09	1.0^a	8.40	8.62	8.51	8.59	8.70	8.70	8.73	8.73	8.67 ± 0.03	6425	-0.54	7.84	-0.77 ± 0.03
16484	C	0.59 ± 0.1	1.0^a	7.71	7.84	8.20	8.35	8.41	8.24	8.13	...	8.25 ± 0.11	7575	-0.13	7.15	-1.66 ± 0.09
16546	SF	0.62 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.14	8.37	8.41	8.47	8.56	8.55	8.57	8.48	8.52 ± 0.03	8125	-0.64	7.36	-1.1 ± 0.03
16618	C	0.33 ± 0.11	1.0^a	8.15	8.43	8.52	8.59	8.70	8.71	8.69	8.71	8.66 ± 0.03	6725	-0.65	7.81	-0.81 ± 0.03
16637	C	0.6 ± 0.15	1.0^a	7.76	8.08	8.55	8.70	8.84	8.74	8.52	8.71	8.63 ± 0.08	7975	-0.84	8.03	-0.57 ± 0.03
16644	C	0.52 ± 0.06	1.0^a	8.35	8.61	8.55	8.63	8.75	8.79	8.76	8.79	8.72 ± 0.03	5925	-0.61	8.02	-0.66 ± 0.03
16652	SF	-0.3 ± 0.14	1.0^a	8.60	8.72	8.40	8.47	8.57	8.53	8.73	8.64	8.58 ± 0.04	6625	-0.01	7.55	-0.8 ± 0.07
16748	SF	0.41 ± 0.11	1.0^a	8.29	8.65	8.61	8.56	8.68	8.84	8.81	8.79	8.76 ± 0.04	5325	-0.68	7.98	-0.74 ± 0.03
16849	SF	0.34 ± 0.07	1.0^a	8.14	8.31	8.35	8.42	8.52	8.47	8.52	8.47	8.46 ± 0.04	8775	-0.46	7.23	-1.13 ± 0.05
16872	SF	0.7 ± 0.15	1.0^a	...	...	8.32	8.45	8.53	8.41	...	...	8.42 ± 0.04	$... \pm ...$
16953	SF	0.68 ± 0.11	1.0^a	7.94	8.13	8.30	8.33	8.39	8.38	8.39	...	8.37 ± 0.04	10375	-0.61	6.87	-1.42 ± 0.05
17115	SF	0.23 ± 0.14	1.0^a	8.29	8.41	8.31	8.37	8.48	8.41	8.48	8.42	8.42 ± 0.04	9275	-0.36	7.08	-1.2 ± 0.13
17117	SF	0.4 ± 0.02	1.2 ± 0.1	8.33	8.50	8.40	8.47	8.56	8.54	8.64	8.58	8.54 ± 0.04	7575	-0.43	7.41	-1.04 ± 0.03
17168	SF	0.1 ± 0.1	2.6 ± 0.4	8.17	8.29	8.27	8.33	8.36	8.32	8.36	...	8.33 ± 0.04	9875	-0.27	6.91	-1.25 ± 0.08
17176	SF	0.03 ± 0.01	1.4 ± 0.4	8.18	8.28	8.23	8.31	8.37	8.28	8.30	...	8.28 ± 0.05	10825	-0.15	6.79	-1.28 ± 0.03
17205	SF	0.46 ± 0.04	1.0^a	8.16	8.39	8.45	8.52	8.62	8.61	8.62	8.60	8.57 ± 0.03	7625	-0.63	7.54	-0.98 ± 0.03
17206	C	0.68 ± 0.15	1.0^a	8.28	8.60	8.60	8.64	8.76	8.83	8.83	8.83	8.77 ± 0.03	5475	-0.57	8.14	-0.58 ± 0.11
17218	SF	0.19 ± 0.07	1.0^a	8.41	8.64	8.52	8.57	8.68	8.73	8.75	8.74	8.69 ± 0.03	6125	-0.56	7.84	-0.8 ± 0.03
17219	SF	0.62 ± 0.03	1.0^a	8.38	8.65	8.52	8.53	8.64	8.72	8.76	8.72	8.68 ± 0.03	6025	-0.59	7.76	-0.87 ± 0.03
17254	SF	0.43 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.20	8.43	8.45	8.51	8.61	8.60	8.62	8.54	8.56 ± 0.03	7575	-0.61	7.5	-1.01 ± 0.03
17258	SF	0.33 ± 0.01	0.2 ± 0.1	8.32	8.45	8.36	8.45	8.54	8.47	8.56	8.50	8.46 ± 0.03	8375	-0.3	7.28	-1.04 ± 0.03
17263	SF	0.42 ± 0.04	1.0^a	8.34	8.63	8.54	8.54	8.66	8.74	8.77	8.74	8.70 ± 0.03	5875	-0.57	7.86	-0.8 ± 0.03
17280	C	0.65 ± 0.04	1.0^a	8.49	8.65	8.50	8.63	8.76	8.68	8.73	8.73	8.67 ± 0.03	6325	-0.24	7.98	-0.55 ± 0.03
17372	SF	0.34 ± 0.07	1.0^a	7.68	7.89	8.30	8.40	8.47	8.38	8.01	...	8.36 ± 0.07	11425	-0.61	6.95	-1.34 ± 0.08
17389	SF	0.37 ± 0.13	1.7 ± 0.2	8.15	8.35	8.43	8.53	8.62	8.58	8.58	8.62	8.56 ± 0.02	7625	-0.5	7.57	-0.91 ± 0.05
17393	SF	0.89 ± 0.1	1.0^a	7.74	7.99	8.33	8.37	8.44	8.42	8.33	8.15	8.38 ± 0.05	10725	-0.76	6.97	-1.36 ± 0.05
17433	SF	0.01 ± 0.11	1.0^a	8.35	8.45	8.32	8.45	8.54	8.42	8.50	8.52	8.46 ± 0.03	8575	-0.1	7.27	-0.98 ± 0.11
17473	SF	0.36 ± 0	1.0 ± 0.1	8.28	8.41	8.34	8.44	8.52	8.44	8.52	8.47	8.44 ± 0.03	8725	-0.32	7.21	-1.09 ± 0.03
17497	SF	0.66 ± 0.04	1.0^a	8.07	8.42	8.54	8.55	8.67	8.74	8.69	8.66	8.65 ± 0.04	6825	-0.87	7.76	-0.88 ± 0.03
17647	SF	0.15 ± 0.25	0.7 ± 0.4	8.20	8.33	8.29	8.35	8.42	8.37	8.40	...	8.37 ± 0.04	9575	-0.35	6.95	-1.28 ± 0.19
17687	SF	0.68 ± 0.07	1.0^a	8.18	8.43	8.48	8.55	8.67	8.65	8.65	8.65	8.61 ± 0.03	7175	-0.65	7.68	-0.89 ± 0.04
17695	SF	0.87 ± 0.06	1.0^a	...	...	8.24	8.33	8.39	8.29	8.40	...	8.33 ± 0.06	12925	-0.63	6.68	-1.59 ± 0.11
17745	SF	0 ± 0.05	1.3 ± 0.4	8.11	8.25	8.25	8.26	8.29	8.30	8.29	...	8.28 ± 0.05	10625	-0.41	6.67	-1.48 ± 0.07
17748	SF	0.56 ± 0.07	0.2 ± 0.2	8.23	8.38	8.36	8.45	8.54	8.47	8.52	8.48	8.45 ± 0.03	8725	-0.4	7.25	-1.09 ± 0.11
17773	SF	0.64 ± 0.19	1.0^a	8.57	8.69	8.41	8.53	8.63	8.55	8.71	8.67	8.61 ± 0.03	6675	-0.04	7.64	-0.75 ± 0.09
17784	SF	0.39 ± 0.13	1.0^a	...	7.85	8.41	8.52	8.61	8.56	8.38	8.43	8.48 ± 0.09	9775	-0.85	7.35	-1.09 ± 0.03
17809	SF	0.57 ± 0.23	1.0^a	8.18	8.34	8.33	8.37	8.47	8.44	8.47	8.43	8.42 ± 0.04	8875	-0.43	7.12	-1.2 ± 0.1
17880	SF	0.23 ± 0.08	1.0^a	8.54	8.79	8.58	8.58	8.70	8.80	8.83	8.77	8.75 ± 0.04	5125	-0.33	8.03	-0.6 ± 0.1
17884	SF	0.32 ± 0.14	1.0 ± 0.4	8.39	8.68	8.55	8.54	8.66	8.75	8.78	8.72	8.70 ± 0.03	6025	-0.66	7.83	-0.84 ± 0.07

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(H\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(O/H)$								$T_e [O III] \log \frac{O^{++}}{O^+}$	$12 + \log(N/H)$	$\log(N/O)$		
			$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T	KN2O2	OH _{FINAL}				
17899	SF	0.01 ± 0.17	3.2 ± 0.4	8.13	8.26	8.29	8.36	8.40	8.37	8.40	...	8.37 ± 0.04	9475	-0.31	7.03	-1.19 ± 0.08
17907	SF	0.5 ± 0.07	1.8 ± 0.1	8.39	8.62	8.52	8.58	8.69	8.71	8.73	8.73	8.67 ± 0.03	6375	-0.56	7.82	-0.79 ± 0.03
17965	SF	0.97 ± 0.12	1.0^a	8.27	8.62	8.55	8.49	8.61	8.75	8.75	8.65	8.67 ± 0.05	6325	-0.88	7.71	-0.96 ± 0.1
17967	SF	0.91 ± 0.08	1.0^a	8.35	8.60	8.52	8.57	8.68	8.71	8.73	8.71	8.67 ± 0.03	6425	-0.64	7.79	-0.84 ± 0.03
18010	SF	0.31 ± 0.13	1.0^a	8.13	8.34	8.43	8.53	8.60	8.59	8.59	8.59	8.55 ± 0.02	7675	-0.58	7.49	-1 ± 0.09
18030	SF	0.42 ± 0.01	1.2 ± 0.1	8.09	8.27	8.34	8.38	8.46	8.44	8.45	8.37	8.41 ± 0.04	9375	-0.55	7.06	-1.26 ± 0.03
18049	SF	0.55 ± 0.11	1.0^a	8.16	8.39	8.43	8.48	8.58	8.58	8.58	8.56	8.54 ± 0.03	7775	-0.61	7.49	-1 ± 0.1
18083	SF	0 ± 0.07	1.7 ± 0.4	8.46	8.75	8.58	8.54	8.65	8.80	8.87	8.80	8.77 ± 0.04	5075	-0.45	7.94	-0.75 ± 0.06
18091	SF	0.35 ± 0.12	1.0^a	8.34	8.56	8.48	8.52	8.62	8.63	8.67	8.64	8.60 ± 0.03	7075	-0.59	7.61	-0.93 ± 0.03
18179	SF	0.63 ± 0.06	1.0^a	7.97	8.13	8.30	8.40	8.48	8.39	8.36	8.31	8.38 ± 0.06	10325	-0.47	7.02	-1.27 ± 0.08
18189	C	0.96 ± 0.05	1.0^a	8.17	8.44	8.51	8.59	8.71	8.70	8.66	8.70	8.64 ± 0.03	6925	-0.68	7.79	-0.82 ± 0.03
18201	C	0.63 ± 0.09	1.0^a	8.28	8.49	8.51	8.64	8.77	8.70	8.67	8.67	8.63 ± 0.03	7025	-0.54	7.87	-0.69 ± 0.05
18253	SF	0.28 ± 0.13	1.0^a	8.46	8.79	8.61	8.52	8.65	8.85	8.93	8.85	8.81 ± 0.05	4975	-0.45	7.97	-0.62 ± 0.08
18254	SF	0.61 ± 0.28	1.0^a	...	...	8.49	8.52	8.63	8.66	...	...	8.62 ± 0.05	$... \pm ...$
18273	SF	0.47 ± 0.05	1.5 ± 0.2	8.25	8.43	8.41	8.49	8.57	8.54	8.56	8.57	8.52 ± 0.03	7875	-0.47	7.41	-1.02 ± 0.06
18312	SF	0.04 ± 0.27	1.0^a	8.18	8.18	8.14	8.25	8.13	8.06	8.06	...	8.10 ± 0.06	10325	0.17	6.39	-1.68 ± 0.33
18323	SF	0.17 ± 0.03	1.0^a	8.24	8.36	8.29	8.35	8.40	8.35	8.39	...	8.36 ± 0.04	9525	-0.29	6.93	-1.27 ± 0.06
18333	SF	0.62 ± 0.1	1.0^a	8.22	8.44	8.47	8.56	8.65	8.63	8.64	8.65	8.60 ± 0.02	7175	-0.58	7.67	-0.88 ± 0.06
18339	SF	0.71 ± 0.05	0.4 ± 0.1	8.38	8.58	8.46	8.52	8.63	8.62	8.72	8.68	8.61 ± 0.04	6725	-0.44	7.62	-0.91 ± 0.09
18363	SF	0.26 ± 0.03	1.0 ± 0.2	8.29	8.46	8.38	8.43	8.52	8.50	8.57	8.53	8.49 ± 0.04	7975	-0.45	7.29	-1.11 ± 0.03
18374	SF	0.15 ± 0.18	1.2 ± 0.4	8.28	8.35	8.17	8.23	8.27	8.19	8.33	...	8.25 ± 0.06	10125	0.33	6.64	-1.13 ± 0.14
18375	C	0.25 ± 0.09	1.0^a	8.34	8.53	8.50	8.63	8.76	8.68	8.67	8.68	8.63 ± 0.03	6925	-0.44	8.04	-0.5 ± 0.08
18463	C	0.14 ± 0.05	2.6 ± 0.3	8.36	8.66	8.60	8.64	8.77	8.83	8.83	8.83	8.77 ± 0.03	5475	-0.55	8.12	-0.6 ± 0.05
18473	C	0.55 ± 0.16	1.0^a	8.19	8.47	8.53	8.61	8.71	8.74	8.74	8.74	8.69 ± 0.03	6325	-0.64	7.92	-0.73 ± 0.1
18588	SF	0.28 ± 0.04	1.0 ± 0.2	8.28	8.39	8.29	8.36	8.41	8.36	8.41	...	8.36 ± 0.04	9325	-0.24	6.96	-1.23 ± 0.07
18602	SF	0 ± 0.17	1.0^a	8.06	8.25	8.36	8.44	8.52	8.48	8.47	8.47	8.46 ± 0.03	8725	-0.49	7.29	-1.07 ± 0.11
18606	SF	0.37 ± 0.14	1.0^a	8.22	8.53	8.56	8.59	8.73	8.78	8.78	8.77	8.72 ± 0.03	5925	-0.61	7.97	-0.71 ± 0.1
18612	C	-0.11 ± 0.07	1.0^a	8.19	8.59	8.68	8.67	8.81	8.95	8.78	8.74	8.75 ± 0.05	5875	-1.02	8.17	-0.56 ± 0.03
18697	SF	0.73 ± 0.04	1.0^a	8.22	8.53	8.54	8.57	8.68	8.70	8.70	8.70	8.66 ± 0.03	6725	-0.66	7.77	-0.84 ± 0.03
18704	SF	0.29 ± 0.06	1.0 ± 0.4	8.25	8.37	8.28	8.33	8.40	8.35	8.40	...	8.35 ± 0.04	9525	-0.29	6.93	-1.27 ± 0.07
18836	SF	0.65 ± 0.18	1.1 ± 0.3	8.47	8.64	8.46	8.55	8.66	8.63	8.70	8.69	8.62 ± 0.03	6825	-0.47	7.69	-0.85 ± 0.04
18851	SF	0.88 ± 0.19	1.0^a	7.65	8.08	8.59	8.57	8.67	8.80	8.52	8.59	8.63 ± 0.10	7775	-1.29	7.66	-0.96 ± 0.11
18855	C	0.34 ± 0.09	1.0^a	8.44	8.63	8.50	8.59	8.71	8.68	8.74	8.68	8.64 ± 0.03	6425	-0.38	7.87	-0.67 ± 0.08
18903	C	0.58 ± 0.12	1.0^a	8.20	8.53	8.58	8.63	8.76	8.80	8.79	8.80	8.74 ± 0.03	5825	-0.61	8.11	-0.59 ± 0.11
18940	SF	0.24 ± 0.28	2.0 ± 0.3	8.17	8.50	8.57	8.59	8.74	8.78	8.78	8.78	8.73 ± 0.03	5875	-0.59	8.03	-0.66 ± 0.12
18942	SF	0.44 ± 0.15	1.0^a	8.32	8.51	8.44	8.52	8.61	8.59	8.61	8.61	8.57 ± 0.02	7575	-0.54	7.51	-0.99 ± 0.11
18943	SF	0.36 ± 0.18	1.0^a	8.36	8.56	8.48	8.56	8.64	8.63	8.64	8.64	8.60 ± 0.02	7225	-0.6	7.6	-0.94 ± 0.13
18945	SF	0.43 ± 0.06	1.0 ± 0.3	8.32	8.48	8.39	8.46	8.56	8.51	8.58	8.57	8.51 ± 0.04	7875	-0.4	7.37	-1.03 ± 0.04
19000	SF	0.34 ± 0.11	1.0^a	8.15	8.35	8.42	8.51	8.60	8.56	8.57	8.58	8.54 ± 0.03	7875	-0.53	7.49	-0.97 ± 0.07
19027	SF	0.13 ± 0.17	3.1 ± 0.3	8.11	8.23	8.25	8.31	8.34	8.30	8.31	...	8.30 ± 0.05	10275	-0.25	6.79	-1.33 ± 0.08
19048	C	0.5 ± 0.02	1.0^a	8.51	8.68	8.51	8.62	8.74	8.69	8.75	8.73	8.67 ± 0.03	6125	-0.26	7.96	-0.59 ± 0.03
19052	SF	0.23 ± 0.28	1.1 ± 0.4	8.33	8.54	8.44	8.47	8.61	8.61	8.63	8.61	8.57 ± 0.03	7425	-0.59	7.53	-0.97 ± 0.09
19078	SF	0.24 ± 0.03	1.0 ± 0.2	8.31	8.48	8.40	8.46	8.56	8.52	8.58	8.57	8.52 ± 0.03	7825	-0.42	7.38	-1.04 ± 0.03

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(H\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(O/H)$								$Te [O III] \log \frac{O^{++}}{O^+}$		$12 + \log(N/H)$	$\log(N/O)$	
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T	KN2O2	OH _{FINAL}			
19149	SF	0.31 ± 0.1	1.0 ± 0.4	8.31	8.48	8.39	8.45	8.55	8.52	8.55	8.54	8.50 ± 0.03	8025	-0.49	7.34	-1.08 ± 0.04
19155	C	0.36 ± 0.05	1.0 ^a	8.12	8.36	8.49	8.61	8.74	8.67	8.58	8.61	8.58 ± 0.03	7775	-0.67	7.77	-0.75 ± 0.05
19205	SF	0.9 ± 0.24	1.0 ^a	8.07	8.24	8.22	8.22	8.28	8.28	8.28	...	8.27 ± 0.05	11225	-0.48	6.6	-1.56 ± 0.34
19274	SF	0.1 ± 0.14	1.0 ^a	8.46	8.79	8.62	8.55	8.67	8.85	8.92	8.85	8.81 ± 0.05	4975	-0.45	8	-0.62 ± 0.1
19346	SF	0.39 ± 0.13	1.0 ^a	8.26	8.39	8.33	8.43	8.48	8.42	8.48	8.47	8.43 ± 0.04	8825	-0.3	7.15	-1.13 ± 0.12
19353	SF	0.81 ± 0.08	1.0 ^a	8.18	8.54	8.59	8.59	8.71	8.81	8.76	8.76	8.73 ± 0.04	5925	-0.78	7.96	-0.75 ± 0.03
19616	C	1.07 ± 0.04	1.0 ^a	8.34	8.57	8.51	8.59	8.71	8.70	8.71	8.73	8.66 ± 0.03	6575	-0.58	7.83	-0.78 ± 0.03
19625	SF	0.74 ± 0.53	1.0 ^a	8.40	8.52	8.36	8.44	8.52	8.45	8.52	8.50	8.46 ± 0.04	8575	-0.36	7.21	-1.13 ± 0.14
19626	C	0.3 ± 0.04	1.0 ^a	8.03	8.20	8.38	8.51	8.61	8.50	8.45	8.53	8.49 ± 0.06	8975	-0.49	7.38	-1.02 ± 0.03
19723	SF	0.82 ± 0.03	1.0 ± 0.1	8.31	8.54	8.49	8.54	8.65	8.67	8.70	8.68	8.63 ± 0.03	6775	-0.61	7.68	-0.9 ± 0.03
19764	SF	0.7 ± 0.11	1.0 ^a	8.41	8.60	8.48	8.55	8.67	8.65	8.69	8.69	8.63 ± 0.03	6825	-0.54	7.73	-0.84 ± 0.15
19769	SF	0.48 ± 0.15	1.0 ^a	8.01	8.30	8.47	8.53	8.63	8.64	8.61	8.61	8.58 ± 0.03	7475	-0.71	7.6	-0.94 ± 0.09
19804	SF	0.47 ± 0.08	1.0 ^a	8.30	8.53	8.49	8.55	8.66	8.67	8.67	8.67	8.62 ± 0.03	6925	-0.63	7.71	-0.88 ± 0.04
19818	SF	0.64 ± 0.1	2.6 ± 0.1	8.17	8.42	8.48	8.55	8.66	8.65	8.65	8.66	8.61 ± 0.03	7075	-0.62	7.7	-0.86 ± 0.03
19953	SF	0.31 ± 0.05	1.0 ^a	7.69	7.92	8.33	8.42	8.50	8.42	8.28	8.23	8.38 ± 0.09	11025	-0.67	7.04	-1.28 ± 0.04
19969	SF	0.53 ± 0.06	1.0 ± 0.1	8.41	8.67	8.53	8.53	8.64	8.73	8.80	8.73	8.70 ± 0.04	5925	-0.58	7.79	-0.86 ± 0.03
20046	SF	0.59 ± 0.03	1.0 ± 0.1	8.32	8.54	8.47	8.53	8.65	8.65	8.70	8.68	8.62 ± 0.03	6775	-0.56	7.67	-0.9 ± 0.04
20051	SF	0.03 ± 0.16	3.6 ± 0.3	8.13	8.31	8.39	8.47	8.56	8.51	8.51	8.54	8.49 ± 0.03	8225	-0.45	7.42	-0.97 ± 0.03
20084	SF	0.53 ± 0.02	0.7 ± 0.1	8.04	8.22	8.34	8.42	8.50	8.45	8.40	8.39	8.40 ± 0.04	9725	-0.56	7.09	-1.22 ± 0.03
20185	SF	1.04 ± 0.14	1.0 ^a	7.99	8.29	8.49	8.56	8.66	8.66	8.59	8.63	8.60 ± 0.03	7475	-0.76	7.64	-0.92 ± 0.07
20208	SF	0.35 ± 0.01	1.0 ± 0.1	8.11	8.36	8.43	8.46	8.56	8.58	8.57	8.47	8.53 ± 0.04	8075	-0.71	7.36	-1.12 ± 0.03
20217	SF	0.55 ± 0.13	1.0 ^a	8.54	8.72	8.51	8.58	8.70	8.70	8.78	8.73	8.68 ± 0.03	5875	-0.27	7.92	-0.62 ± 0.08
20231	SF	0.54 ± 0.19	1.0 ^a	8.26	8.57	8.54	8.54	8.68	8.75	8.75	8.72	8.69 ± 0.03	6225	-0.71	7.86	-0.8 ± 0.09
20257	SF	0.16 ± 0.22	2.1 ± 0.4	8.10	8.29	8.40	8.51	8.57	8.53	8.56	8.57	8.51 ± 0.03	7975	-0.45	7.44	-0.99 ± 0.12
20262	C	0.13 ± 0.13	1.0 ^a	8.34	8.53	8.50	8.62	8.75	8.68	8.68	8.67	8.63 ± 0.03	6925	-0.44	7.9	-0.64 ± 0.08
20267	SF	0.53 ± 0.15	1.9 ± 0.1	8.09	8.30	8.40	8.47	8.55	8.53	8.54	8.53	8.50 ± 0.03	8125	-0.54	7.39	-1.04 ± 0.11
20319	SF	0.29 ± 0.08	1.0 ^a	8.09	8.26	8.37	8.48	8.57	8.49	8.42	8.46	8.45 ± 0.04	9175	-0.5	7.29	-1.07 ± 0.07
20331	SF	0.64 ± 0.02	1.0 ^a	8.34	8.61	8.52	8.52	8.63	8.71	8.76	8.71	8.67 ± 0.03	6125	-0.59	7.75	-0.88 ± 0.03
20345	SF	0.55 ± 0.22	1.0 ^a	8.32	8.55	8.47	8.49	8.61	8.61	8.61	8.60	8.57 ± 0.03	7525	-0.63	7.54	-0.97 ± 0.08
20467	SF	0.6 ± 0.15	1.0 ^a	7.66	7.97	8.43	8.51	8.61	8.60	8.32	8.46	8.48 ± 0.11	9375	-0.91	7.36	-1.08 ± 0.07
20476	SF	0.35 ± 0.01	4.0 ± 0.1	8.19	8.22	8.16	8.19	8.22	8.18	8.23	...	8.21 ± 0.06	11275	-0.02	6.5	-1.43 ± 0.03
20480	SF	0.3 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.16	8.38	8.41	8.46	8.55	8.55	8.58	8.48	8.52 ± 0.03	8075	-0.62	7.34	-1.12 ± 0.03
20528	C	0.99 ± 0.06	1.0 ^a	7.93	8.28	8.56	8.62	8.75	8.76	8.62	8.68	8.65 ± 0.05	7325	-0.93	7.85	-0.78 ± 0.03
20553	C	1.41 ± 0.11	1.0 ^a	...	...	8.31	8.50	8.60	8.40	...	...	8.38 ± 0.07	7325	-0.7	7.58	-1.66 ± 0.09
20560	SF	0.07 ± 0	1.0 ^a	8.01	7.91	8.05	8.03	8.02	8.01	8.06	...	8.03 ± 0.07	7525	0.51	6.44	-1.8 ± 0.05
20562	SF	0.07 ± 0.02	0.5 ± 0.4	8.20	8.25	8.18	8.24	8.28	8.20	8.23	...	8.22 ± 0.05	11375	0.02	6.57	-1.36 ± 0.07
20581	SF	0.46 ± 0.03	1.0 ^a	8.00	8.17	8.31	8.38	8.45	8.40	8.41	8.29	8.39 ± 0.04	9925	-0.53	7.01	-1.31 ± 0.03
20613	SF	0.32 ± 0.02	0.5 ± 0.1	8.35	8.55	8.45	8.49	8.59	8.60	8.69	8.64	8.58 ± 0.04	6975	-0.48	7.53	-0.98 ± 0.03
20625	SF	0.58 ± 0.04	1.0 ^a	8.27	8.55	8.53	8.56	8.68	8.71	8.71	8.70	8.66 ± 0.03	6525	-0.67	7.81	-0.82 ± 0.03
20687	SF	0.58 ± 0.06	1.0 ^a	8.29	8.63	8.59	8.58	8.71	8.79	8.80	8.76	8.73 ± 0.04	5825	-0.69	8.02	-0.68 ± 0.07
20721	SF	0.48 ± 0.04	0.7 ± 0.2	8.24	8.51	8.49	8.53	8.64	8.67	8.69	8.65	8.63 ± 0.03	6825	-0.67	7.64	-0.95 ± 0.03
20764	C	0.23 ± 0.09	1.0 ^a	8.23	8.51	8.55	8.61	8.72	8.75	8.75	8.75	8.70 ± 0.03	6225	-0.62	8.05	-0.6 ± 0.08
20788	C	0.86 ± 0.18	1.0 ^a	8.19	8.56	8.62	8.63	8.77	8.87	8.81	8.81	8.78 ± 0.04	5525	-0.75	8.15	-0.61 ± 0.11

Continúa en la siguiente página

Tabla C.2: continuación

Objeto	Clase	$c(H\beta)$	W_{abs}	$12 + \log(O/H)$								$Te [O III] \log \frac{O^{++}}{O^+}$	$12 + \log(N/H)$	$\log(N/O)$		
				$[\text{\AA}]$	P01	PT05	M13a	M13b	PP04a	PP04c	KK04T				KN2O2	OH _{FINAL}
20830	SF	0.84 ± 0.05	1.0^a	8.26	8.56	8.53	8.54	8.65	8.71	8.71	8.67	8.66 ± 0.03	6625	-0.75	7.72	-0.9 ± 0.04
21034	C	0.98 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.03	8.18	8.41	8.62	8.75	8.54	8.32	8.57	8.53 ± 0.06	8975	-0.43	7.64	-0.79 ± 0.03
21060	SF	0.8 ± 0.18	1.0^a	8.07	8.24	8.22	8.21	8.26	8.26	8.26	...	8.25 ± 0.05	11475	-0.45	6.55	-1.58 ± 0.11
21062	SF	0.44 ± 0.04	1.0^a	7.74	8.01	8.38	8.44	8.53	8.51	8.39	8.34	8.43 ± 0.08	10025	-0.81	7.16	-1.22 ± 0.03
21129	SF	0.86 ± 0.16	1.0^a	7.93	8.25	8.48	8.52	8.65	8.66	8.63	8.61	8.59 ± 0.03	7475	-0.78	7.64	-0.93 ± 0.05
21413	SF	0.57 ± 0.21	1.0^a	7.90	8.11	8.38	8.50	8.58	8.51	8.49	8.50	8.48 ± 0.04	8825	-0.56	7.35	-1.07 ± 0.07
21543	SF	0.65 ± 0.11	1.0^a	8.40	8.64	8.53	8.58	8.70	8.73	8.75	8.74	8.69 ± 0.03	6225	-0.61	7.88	-0.77 ± 0.05
21589	C	0.48 ± 0.16	1.0^a	8.37	8.52	8.44	8.58	8.69	8.59	8.64	8.63	8.58 ± 0.02	7275	-0.31	7.7	-0.76 ± 0.08
21594	SF	0.71 ± 0.09	1.0^a	8.02	8.21	8.31	8.35	8.41	8.40	8.39	...	8.37 ± 0.04	9975	-0.57	6.92	-1.36 ± 0.06
21839	SF	0.34 ± 0.06	1.0^a	...	...	8.40	8.48	8.58	8.53	...	...	8.50 ± 0.03	$... \pm ...$
21861	SF	0.23 ± 0.12	1.0^a	8.40	8.52	8.28	8.28	8.37	8.36	8.56	8.36	8.38 ± 0.08	8975	-0.27	6.95	-1.27 ± 0.1
21872	SF	0.81 ± 0.02	1.0^a	8.35	8.62	8.52	8.54	8.65	8.72	8.75	8.72	8.68 ± 0.03	6125	-0.6	7.78	-0.85 ± 0.03
21890	SF	0.6 ± 0.15	1.0^a	8.06	8.36	8.49	8.51	8.64	8.66	8.66	8.63	8.61 ± 0.03	7175	-0.72	7.64	-0.93 ± 0.05
22001	C	0.7 ± 0.06	1.0^a	8.27	8.59	8.63	8.71	8.86	8.87	8.80	8.87	8.80 ± 0.03	5575	-0.61	8.31	-0.44 ± 0.05
22002	C	1.45 ± 0.03	1.0^a	...	...	8.54	8.65	8.78	8.74	...	...	8.69 ± 0.05	$... \pm ...$
22003	C	0.5 ± 0.06	1.0^a	8.09	8.42	8.57	8.64	8.77	8.77	8.68	8.75	8.69 ± 0.04	6625	-0.74	8.11	-0.56 ± 0.06
22004	C	1.63 ± 0.03	1.0^a	...	...	8.56	8.65	8.78	8.77	...	...	8.72 ± 0.05	$... \pm ...$
22007	C	1.15 ± 0.06	1.0^a	...	...	8.52	8.63	8.76	8.71	...	...	8.66 ± 0.05	$... \pm ...$
22008	SF	0.89 ± 0.04	1.0^a	8.33	8.68	8.61	8.59	8.71	8.82	8.82	8.78	8.76 ± 0.04	5575	-0.71	8.05	-0.68 ± 0.05
22010	SF	0 ± 0.14	1.0^a	7.97	8.23	8.41	8.46	8.55	8.55	8.49	8.49	8.49 ± 0.03	8425	-0.66	7.38	-1.06 ± 0.11
22011	C	0.65 ± 0.03	1.0^a	...	...	8.47	8.62	8.75	8.64	...	...	8.60 ± 0.03	$... \pm ...$
22013	SF	0.64 ± 0.01	0.3 ± 0.1	...	...	8.55	8.52	8.62	8.76	...	...	8.71 ± 0.06	$... \pm ...$
22014	C	0.8 ± 0.08	1.0^a	...	...	8.52	8.65	8.79	8.71	...	...	8.66 ± 0.05	$... \pm ...$
22015	SF	0.33 ± 0.11	1.0^a	...	...	8.44	8.54	8.65	8.60	...	...	8.56 ± 0.03	$... \pm ...$
22016	SF	0.5 ± 0.06	1.0^a	8.19	8.48	8.53	8.58	8.70	8.72	8.71	8.72	8.67 ± 0.03	6525	-0.65	7.84	-0.79 ± 0.05
22017	C	0.8 ± 0.02	1.0 ± 0.1	...	...	8.55	8.63	8.76	8.76	...	...	8.71 ± 0.05	$... \pm ...$
22018	SF	0.39 ± 0.04	1.0^a	8.27	8.64	8.60	8.56	8.68	8.82	8.82	8.75	8.74 ± 0.04	5675	-0.76	7.97	-0.75 ± 0.07
22019	SF	1.2 ± 0.04	1.0^a	7.99	8.35	8.54	8.57	8.68	8.74	8.61	8.64	8.63 ± 0.05	7225	-0.97	7.73	-0.9 ± 0.03
22020	SF	0.35 ± 0.02	1.1 ± 0.1	...	...	8.55	8.55	8.66	8.75	...	...	8.70 ± 0.06	$... \pm ...$
22021	SF	0.87 ± 0.05	1.0^a	8.17	8.51	8.58	8.60	8.73	8.79	8.75	8.75	8.71 ± 0.03	6125	-0.77	7.99	-0.72 ± 0.05
22022	SF	0.37 ± 0.02	1.0 ± 0.1	8.39	8.62	8.52	8.58	8.70	8.71	8.76	8.75	8.68 ± 0.03	6225	-0.51	7.89	-0.73 ± 0.04
22023	C	0.72 ± 0.11	1.6 ± 0.1	8.27	8.55	8.57	8.67	8.81	8.79	8.77	8.82	8.74 ± 0.03	5925	-0.55	8.16	-0.53 ± 0.03

Tabla C.3 Medidas de las líneas adicionales necesarias para la determinación de las abundancias mediante el método directo para las galaxias para las cuales están disponibles.

Objeto	Clase	T_e [O III]	T_e [O II]	$\frac{[\text{O III}] \lambda 4363}{H\beta}$		$\frac{[\text{O III}] \lambda 4959}{H\beta}$		$\frac{[\text{N II}] \lambda 6548}{H\beta}$	
				I	I_0	I	I_0	I	I_0
1119	C	9860 ± 980	9900 ± 680	3.72 ± 1.13	4.03 ± 1.23	217 ± 13	213 ± 14	82.4 ± 9.2	69.7 ± 7.8
3901	SF	9670 ± 1410	9770 ± 980	0.98 ± 0.42	1.11 ± 0.47	65 ± 3	64 ± 3	15.5 ± 2.6	11.9 ± 2.0
8719	SF	11050 ± 870	10730 ± 600	2.14 ± 0.47	2.39 ± 0.53	98 ± 3	95 ± 3	6.50 ± 0.7	5.1 ± 0.6
11172	SF	7940 ± 1150	8560 ± 800	0.24 ± 0.12	0.26 ± 0.13	31 ± 1	31 ± 2	50.6 ± 5.6	43.8 ± 4.9
13072	SF	8970 ± 710	9280 ± 490	0.98 ± 0.27	1.15 ± 0.32	92 ± 1	90 ± 2	30.5 ± 1.8	21.8 ± 1.3
15132	SF	11350 ± 1320	10940 ± 920	2.26 ± 0.70	2.56 ± 0.79	91 ± 12	89 ± 12	1.8 ± 0.3	1.4 ± 0.2

Tabla C.4 Abundancias directas para las galaxias a las que ha sido posible calcularlas.

Objeto	Clase	$12 + \log(\text{O}^+/\text{H}^+)$	$12 + \log(\text{O}^{++}/\text{H}^+)$	$12 + \log(\text{O}/\text{H})$	$\log(\text{O}^{++}/\text{O}^+)$	icf	$12 + \log(\text{N}^+/\text{H}^+)$	$12 + \log(\text{N}/\text{H})$	$\log(\text{N}/\text{O})$
1119	C	8.01 ± 0.14	8.38 ± 0.06	8.53 ± 0.06	0.36 ± 0.15	3.31 ± 0.80	7.46 ± 0.08	7.98 ± 0.13	-0.55 ± 0.00
3901	SF	8.24 ± 0.21	7.88 ± 0.09	8.40 ± 0.15	-0.36 ± 0.23	1.44 ± 0.23	6.95 ± 0.13	7.11 ± 0.15	-1.29 ± 0.00
8719	SF	7.97 ± 0.08	7.89 ± 0.03	8.23 ± 0.04	-0.08 ± 0.08	1.83 ± 0.15	6.41 ± 0.07	6.67 ± 0.08	-1.56 ± 0.00
11172	SF	8.42 ± 0.22	7.90 ± 0.11	8.54 ± 0.17	-0.52 ± 0.25	1.30 ± 0.17	7.34 ± 0.13	7.45 ± 0.14	-1.09 ± 0.00
13072	SF	8.14 ± 0.11	8.14 ± 0.05	8.44 ± 0.06	-0.00 ± 0.12	1.99 ± 0.28	7.18 ± 0.07	7.48 ± 0.09	-0.96 ± 0.00
15132	SF	8.11 ± 0.16	7.79 ± 0.06	8.28 ± 0.11	-0.31 ± 0.17	1.48 ± 0.19	6.61 ± 0.11	6.78 ± 0.12	-1.50 ± 0.00

Tabla C.5: Parámetros de la LC para las SNe Ia de SDSS y Union2.1

Objeto	Corte	s	C	m_B	$\log[M_*/M_\odot]$	SNR	M_B	z
5	1	1.03 ± 0.02	-0.08 ± 0.02	20.11 ± 0.03	10.714	5.7	-19.09	0.14195
10	1	1.12 ± 0.04	0.76 ± 0.02	20.16 ± 0.03	8.408	3.9	-17	0.05878
30	1	1.09 ± 0.02	-0.12 ± 0.01	19.51 ± 0.02	10.976	6.2	-19.71	0.14276
83	1	0.98 ± 0.02	-0.1 ± 0.01	17.47 ± 0.02	10.132	5.5	-19.35	0.05025
128	1	1 ± 0.02	-0.09 ± 0.02	20.04 ± 0.02	8.389	2.8	-19.33	0.15179
133	1	1 ± 0.04	-0.09 ± 0.04	20.53 ± 0.05	11.132	6.9	-19.27	0.18187
171	0	1.02 ± 0.13	-0.1 ± 0.03	19.84 ± 0.07	9.71	3.8	-19.45	0.14764
172	0	1.6 ± 0	...	...	10.141	2.3	...	0.19622
194	0	1.4 ± 0.38	0.03 ± 0.04	19.93 ± 0.35	10.949	6.7	-19.55	0.15938
247	0	1.6 ± 51.92	...	...	10.77	4.1	...	0.21647
703	0	...	...	...	10.135	0.6	...	0.29804
744	1	1.15 ± 0.05	0.03 ± 0.03	19.67 ± 0.06	10.551	4.1	-19.3	0.12825
859	1	1.07 ± 0.06	0.02 ± 0.05	21.42 ± 0.05	8.969	1.2	-19.42	0.2783
911	0	1.6 ± 0	...	...	10.559	3.2	...	0.20726
986	1	0.94 ± 0.11	-0.03 ± 0.07	21.83 ± 0.07	10.489	1.7	-19.02	0.28058
1119	0	...	...	...	11.133	3.2	...	0.29781
1241	1	0.96 ± 0.01	0.06 ± 0.01	19.12 ± 0.03	10.83	3.4	-19.02	0.08979
1354	1	1.31 ± 0.29	0.11 ± 0.16	25.54 ± 0.39	11.134	5.3	-15.03	0.24944
1403	1	0.64 ± 0.08	-0.05 ± 0.09	22.09 ± 0.14	10.128	0.8	-19.41	0.36138
1688	1	1.06 ± 0.12	0.01 ± 0.08	22.08 ± 0.08	10.623	1.8	-19.39	0.35916
1750	0	1.09 ± 0.07	0.18 ± 0.08	22.06 ± 0.1	10.285	1.6	-18.61	0.25997
1794	1	1.13 ± 0.06	-0.01 ± 0.02	20.02 ± 0.04	7.844	2.6	-19.18	0.14191
1991	1	0.94 ± 0.1	-0.04 ± 0.1	21.55 ± 0.09	10.16	0.4	-19.6	0.31548
2017	1	1.13 ± 0.05	-0.08 ± 0.06	21.23 ± 0.07	10.707	2.2	-19.47	0.26309
2078	1	0.4 ± 0	...	...	9.595	1.4	...	0.32377
2081	1	0.83 ± 0.09	-0.13 ± 0.08	21.32 ± 0.08	10.206	2.2	-19.27	0.25166
2149	1	0.99 ± 0.07	-0.1 ± 0.06	21.79 ± 0.06	10.67	2.8	-19.2	0.29564
2235	1	1.24 ± 0.16	-0.08 ± 0.07	22.09 ± 0.15	10.866	2.4	-19.31	0.34784
2372	1	1.06 ± 0.02	0.01 ± 0.03	20.55 ± 0.03	10.597	4.4	-19.23	0.18047
2440	1	1.02 ± 0.03	-0.11 ± 0.03	20.6 ± 0.04	10.547	6.3	-19.32	0.19114
2551	1	0.8 ± 0.09	-0.24 ± 0.1	22.12 ± 0.12	8.261	1.1	-18.44	0.24906
2561	1	1 ± 0.01	0.05 ± 0.02	19.82 ± 0.03	10.945	5.1	-18.96	0.11813
2784	0	...	...	...	10.464	1.1	...	0.39999
2992	1	0.9 ± 0.02	0.11 ± 0.02	20.03 ± 0.04	10.389	4.3	-18.9	0.1266
3087	1	...	...	...	9.915	2.3	...	0.16551
3150	1	0.93 ± 0.06	0.02 ± 0.06	22.27 ± 0.09	9.678	1.2	-19.02	0.33327
3175	1	1.1 ± 0.05	-0.16 ± 0.05	21.42 ± 0.08	10.047	0.8	-18.85	0.22111
3225	1	0.78 ± 0.04	-0.01 ± 0.07	22.15 ± 0.08	11.225	3.5	-19.2	0.34191
3256	1	0.96 ± 0.02	-0.06 ± 0.02	19.5 ± 0.05	10.06	7	-19.06	0.10823
3331	1	0.97 ± 0.03	0.1 ± 0.04	21.1 ± 0.04	11.09	4.8	-19.08	0.21312
3368	1	1.12 ± 0.06	-0.09 ± 0.07	21.92 ± 0.07	9.88	0.6	-19.68	0.37748
3475	1	0.68 ± 0.04	0.06 ± 0.07	22.04 ± 0.09	10.821	3.5	-18.99	0.30111
3527	1	0.91 ± 0.07	-0.09 ± 0.07	22.62 ± 0.12	10.368	1.6	-19.26	0.41993
3592	1	0.99 ± 0.01	-0.06 ± 0.01	18.73 ± 0.02	10.851	6.6	-19.33	0.08658
3780	1	1.44 ± 0.11	0.05 ± 0.08	22.38 ± 0.11	10.478	1.8	-19.12	0.36197
3825	0	0.5 ± 2453.51	...	...	11.195	2.3	...	0.31343
3881	1	0.89 ± 0.05	-0.1 ± 0.07	21.88 ± 0.08	11.728	5.2	-19.37	0.32778
3901	1	1.13 ± 0.01	0.03 ± 0.01	17.99 ± 0.01	9.5	5.3	-19.33	0.06286
3945	1	0.93 ± 0.04	-0.12 ± 0.07	21.15 ± 0.09	9.765	1.3	-19.54	0.262
3975	0	...	...	...	11.242	1.3	...	0.39354
3983	1	0.9 ± 0.04	-0.23 ± 0.07	21.39 ± 0.11	10.121	1.2	-19.7	0.30801
4019	1	1.04 ± 0.02	0.07 ± 0.04	20.86 ± 0.04	11.264	4.7	-18.92	0.1814
4046	1	1.09 ± 0.04	-0.03 ± 0.05	21.5 ± 0.04	11.427	3.6	-19.32	0.277
4181	1	1.1 ± 0.04	-0.07 ± 0.05	21.4 ± 0.04	10.552	3.6	-19.53	0.28917
4236	1	0.92 ± 0.03	-0.09 ± 0.06	21.69 ± 0.06	10.767	2	-19.68	0.34443
4311	1	0.98 ± 0.04	-0.06 ± 0.06	21.61 ± 0.07	10.784	1.8	-19.38	0.29629
4547	1	1.6 ± 0	...	...	11.025	1.8	...	0.44118
4612	1	0.89 ± 0.05	0.16 ± 0.1	22.78 ± 0.09	10.229	0.8	-18.94	0.39495
4682	1	0.82 ± 0.05	-0.01 ± 0.08	22.56 ± 0.08	10.603	0.7	-19.21	0.40232
4969	1	0.82 ± 0.05	0.68 ± 0.1	22.71 ± 0.13	11.316	3.6	-18.37	0.30678
5103	1	0.97 ± 0.02	-0.06 ± 0.03	20.25 ± 0.03	9.723	2	-19.27	0.16199
5199	1	1.05 ± 0.05	-0.14 ± 0.07	21.4 ± 0.08	8.602	1.5	-18.88	0.22195
5230	1	0.67 ± 0.04	0.07 ± 0.14	21.87 ± 0.09	10.63	4.2	-19.33	0.32206
5486	1	1.11 ± 0.04	0.2 ± 0.05	21.39 ± 0.06	10.65	1.8	-18.98	0.22959
5533	1	1.01 ± 0.03	0.12 ± 0.03	21.21 ± 0.03	10.231	1.9	-19.05	0.22028
5549	1	1.01 ± 0.01	0 ± 0.01	19.62 ± 0.02	7.74	1.8	-19.21	0.12124
5550	1	1.17 ± 0.02	-0.12 ± 0.01	19.78 ± 0.02	8.396	2.6	-19.65	0.15629
5751	1	1.06 ± 0.01	0.16 ± 0.01	20.1 ± 0.02	10.832	5.3	-18.91	0.13056
5802	1	1.14 ± 0.04	-0.04 ± 0.05	21.51 ± 0.05	9.8	0.6	-19.52	0.30066
5859	1	1.04 ± 0.07	-0.05 ± 0.1	22.14 ± 0.15	11.064	3.4	-18.33	0.24
5869	1	1.31 ± 0.08	-0.15 ± 0.08	22.37 ± 0.1	10.675	8	-17.1	0.15838
5890	1	1 ± 0.02	-0.18 ± 0.04	20.44 ± 0.05	10.687	5.1	-19.33	0.17997
5909	1	1.19 ± 0.07	-0.05 ± 0.08	22.01 ± 0.1	10.805	1.2	-19.38	0.34758
5957	1	1.03 ± 0.04	-0.05 ± 0.05	21.45 ± 0.04	10.593	3.6	-19.41	0.2803
5963	1	0.99 ± 0.04	0.01 ± 0.06	21.11 ± 0.03	10.481	2.3	-19.33	0.23692
6057	1	0.87 ± 0.01	0.13 ± 0.01	18.61 ± 0.04	10.29	5.1	-18.85	0.06707
6127	1	0.86 ± 0.05	0.11 ± 0.06	21.85 ± 0.06	9.311	1.6	-19.07	0.28859
6192	1	0.86 ± 0.04	-0.1 ± 0.07	21.52 ± 0.06	9.669	0.7	-19.26	0.27247

Continúa en la siguiente página

Tabla C.5: continuación

Objeto	Corte	s	C	m_B	$\log[M_*/M_\odot]$	SNR	M_B	z
6216	1	1.06 ± 0.09	0.14 ± 0.07	22.08 ± 0.05	9.503	2.4	-17.63	0.17556
6249	1	1.09 ± 0.06	0.01 ± 0.05	21.82 ± 0.04	10.364	1.9	-19.16	0.29506
6406	1	0.95 ± 0.01	-0.01 ± 0.01	19.55 ± 0.03	10.873	3.9	-19.34	0.12449
6422	1	1.03 ± 0.02	-0.16 ± 0.02	20.19 ± 0.02	9.94	2	-19.67	0.18646
6491	1	0.89 ± 0.03	0.06 ± 0.04	21.06 ± 0.05	11.147	8.4	-17.55	0.11022
6558	1	1.08 ± 0.01	0 ± 0.01	17.68 ± 0.02	9.906	7.1	-19.43	0.05739
6560	1	0.57 ± 0.05	-0.16 ± 0.08	21.56 ± 0.1	9.491	0.3	-19.23	0.27327
6831	1	1.59 ± 0.1	0.63 ± 0.06	22.5 ± 0.13	10.932	3.3	-17.66	0.21145
6936	1	1.02 ± 0.03	-0.43 ± 0.04	20.29 ± 0.04	10.54	4.2	-19.48	0.18021
7143	0	...	...	...	10.55	1.5	...	0.30514
7243	1	1.07 ± 0.03	-0.05 ± 0.04	20.73 ± 0.05	9.615	1.4	-19.35	0.20462
7365	1	1.21 ± 0.07	-0.08 ± 0.07	22.21 ± 0.09	10.51	1.7	-19.5	0.39393
7373	1	1.15 ± 0.04	-0.07 ± 0.05	21.31 ± 0.04	10.85	3.4	-19.54	0.28006
7444	1	1.1 ± 0.05	0.01 ± 0.05	21.7 ± 0.05	10.11	1.1	-18.88	0.25036
7460	1	0.48 ± 0.04	-0.33 ± 0.09	22.09 ± 0.08	10.887	3.9	-18.47	0.24945
7644	1	1.05 ± 0.07	0.04 ± 0.06	22 ± 0.05	9.872	2.1	-19.11	0.31006
7647	1	1.03 ± 0.06	0 ± 0.06	22.15 ± 0.05	10.778	0.6	-19.51	0.38666
7701	1	0.72 ± 0.25	...	26.38 ± 0.49	10.476	2.3	-15.11	0.36062
7835	1	0.95 ± 0.09	0.17 ± 0.1	22.68 ± 0.12	9.864	3	-16.77	0.15692
7847	1	1.01 ± 0.03	0.27 ± 0.04	21.25 ± 0.03	10.711	3.9	-18.92	0.21266
7857	1	1.24 ± 0.1	0.08 ± 0.09	22.39 ± 0.08	10.079	1.3	-19.17	0.37126
7876	1	1 ± 0.01	0 ± 0.01	18.34 ± 0.02	10.705	7.7	-19.41	0.07602
7919	1	1.22 ± 0.09	0.21 ± 0.09	22.66 ± 0.15	10.967	2.8	-18.52	0.31932
8128	0	...	...	...	10.1	1.6	...	0.43972
8151	1	0.88 ± 0.01	0.05 ± 0.01	15.74 ± 0.02	9.608	6	-18.08	0.013
8254	1	0.94 ± 0.04	-0.06 ± 0.06	20.98 ± 0.06	8.674	3.2	-18.91	0.1892
8495	1	1.04 ± 0.03	-0.05 ± 0.05	20.79 ± 0.04	11.268	4.6	-19.41	0.21498
8555	1	0.93 ± 0.03	0.12 ± 0.05	21.66 ± 0.06	9.924	3	-18.34	0.1977
8598	1	0.92 ± 0.06	0.11 ± 0.08	22.41 ± 0.08	10.668	1.1	-19.08	0.3612
8651	1	1.6 ± 0	...	...	9.457	1	...	0.41259
8700	1	0.88 ± 0.05	-0.14 ± 0.05	22.37 ± 0.08	10.584	0.3	-19.53	0.42344
8705	1	0.75 ± 0.06	-0.13 ± 0.08	22.5 ± 0.07	10.913	1	-19.21	0.39422
8719	1	0.99 ± 0.02	-0.08 ± 0.02	19.36 ± 0.02	9.632	3.2	-19.4	0.11757
8742	1	1.17 ± 0.04	-0.04 ± 0.04	21.36 ± 0.05	10.263	3	-18.84	0.21537
8921	1	1.11 ± 0.02	-0.03 ± 0.03	19.94 ± 0.03	10.22	3.7	-19.32	0.14539
9045	1	0.84 ± 0.06	-0.18 ± 0.08	22.1 ± 0.09	10.796	1.6	-19.59	0.39098
9133	0	1.6 ± 0	...	...	10.63	3	...	0.26737
9155	1	1.6 ± 0	...	...	10.451	1.6	...	0.30568
9962	1	0.85 ± 0.08	0.14 ± 0.08	22.63 ± 0.1	11.241	3.5	-18.6	0.32512
10096	1	1.06 ± 0.03	0.35 ± 0.02	20.32 ± 0.04	10.279	7.7	-17.48	0.07765
10299	0	...	...	...	9.273	1.2	...	0.26125
10449	1	1.1 ± 0.06	-0.04 ± 0.07	20.86 ± 0.06	10.138	1.6	-19.63	0.24203
10550	1	1.28 ± 0.08	0.12 ± 0.07	22.05 ± 0.07	9.909	2.1	-18.98	0.30081
10805	1	0.92 ± 0.04	0.12 ± 0.01	17.52 ± 0.03	10.454	10.1	-19.06	0.04525
11026	0	...	...	...	10.578	2.9	...	0.2842
11067	0	1.11 ± 0.03	-0.08 ± 0.02	19.08 ± 0.02	8.62	3.3	-19.68	0.11776
11172	1	0.89 ± 0.03	0.13 ± 0.05	20.78 ± 0.07	10.364	5	-18.33	0.13633
11300	1	0.86 ± 0.06	0.07 ± 0.02	20.27 ± 0.03	8.782	2.7	-18.85	0.13684
11311	1	0.96 ± 0.06	-0.03 ± 0.06	20.87 ± 0.07	10.916	5.8	-19.21	0.20453
11858	1	1.6 ± 0	...	...	10.512	1	...	0.29126
12199	1	0.94 ± 0.08	-0.09 ± 0.09	21.76 ± 0.12	11.788	2.2	-19.35	0.3104
12780	0	0.55 ± 0.02	0.27 ± 0.02	18.09 ± 0.06	10.596	4.9	-18.68	0.04941
12804	1	1.05 ± 0.05	-0.04 ± 0.03	19.9 ± 0.04	9.839	3.8	-19.16	0.13372
12841	1	0.92 ± 0.09	-0.09 ± 0.09	21.6 ± 0.26	10.06	1.2	-19.37	0.29349
12856	1	1.05 ± 0.02	-0.1 ± 0.02	20.1 ± 0.03	10.769	3.5	-19.56	0.17167
12860	1	1 ± 0.03	0.14 ± 0.02	20.2 ± 0.03	10.759	4.6	-18.64	0.12168
12879	0	1.6 ± 0	...	...	10.488	1.3	...	0.36499
12881	1	1.07 ± 0.06	0.01 ± 0.05	21.08 ± 0.05	9.388	1.4	-19.37	0.23811
12927	1	1.01 ± 0.04	-0.16 ± 0.04	20.17 ± 0.07	10.649	5.5	-19.73	0.18978
12930	1	1.19 ± 0.04	0.02 ± 0.03	20.05 ± 0.04	11.074	7	-19.24	0.14717
12950	1	0.97 ± 0.01	-0.04 ± 0.01	18.88 ± 0.02	10.076	2.8	-19.07	0.08273
12977	1	1.03 ± 0.03	-0.06 ± 0.05	21.08 ± 0.06	9.742	1.2	-19.47	0.2478
12983	1	1.05 ± 0.16	-0.02 ± 0.07	21.6 ± 0.11	10.843	3.3	-19.12	0.26531
13005	0	0.99 ± 0.06	-0.08 ± 0.06	19.67 ± 0.28	10.355	3.9	-19.28	0.12728
13025	0	1.6 ± 0	...	...	11.215	5.1	...	0.22436
13044	1	0.98 ± 0.02	-0.09 ± 0.02	19.55 ± 0.02	10.005	3.5	-19.37	0.12588
13051	0	...	...	...	10.768	3.2	...	0.28515
13070	1	1.08 ± 0.03	-0.15 ± 0.03	20.34 ± 0.04	10.254	3.1	-19.67	0.19863
13072	1	0.6 ± 0.03	-0.26 ± 0.05	20.81 ± 0.06	10.703	2.8	-19.57	0.23063
13099	0	...	...	...	11.002	3.6	...	0.26603
13152	1	0.99 ± 0.03	0.03 ± 0.03	20.66 ± 0.02	8.896	2.2	-19.41	0.20355
13254	1	1.1 ± 0.03	0.07 ± 0.04	21.16 ± 0.06	10.249	4.7	-18.62	0.18075
13305	1	1.1 ± 0.03	-0.02 ± 0.03	20.82 ± 0.04	10.379	3.7	-19.37	0.21481
13323	1	1 ± 0.05	-0.01 ± 0.04	21.28 ± 0.05	10.326	2.7	-19.11	0.23262
13334	1	0.73 ± 0.19	-0.23 ± 0.2	24.79 ± 0.47	9.79	1.5	-15.73	0.24571
13344	0	1.12 ± 0.12	-0.02 ± 0.07	21.09 ± 0.19	10.878	4.5	-19.03	0.20798
13354	1	1.1 ± 0.02	0.03 ± 0.02	20.23 ± 0.04	10.816	5.3	-19.22	0.15763
13357	1	1.6 ± 0	...	...	10.968	1	...	0.32606
13460	1	0.98 ± 0.04	-0.07 ± 0.07	21.59 ± 0.08	10.337	0.4	-19.52	0.3109

Continúa en la siguiente página

Tabla C.5: continuación

Objeto	Corte	s	C	m_B	$\log[M_*/M_\odot]$	SNR	M_B	z
13465	0	0.45 ± 0.04	-0.36 ± 0.14	20 ± 0.38	9.896	1.5	-20.91	0.28637
13476	1	0.93 ± 0.06	0.06 ± 0.05	22.04 ± 0.05	9.716	1.3	-18.78	0.27572
13477	1	0.97 ± 0.06	-0.17 ± 0.08	22.27 ± 0.09	9.41	1.7	-19.25	0.36533
13529	1	0.99 ± 0.1	-0.27 ± 0.09	21.26 ± 0.11	9.44	1.3	-19.78	0.30244
13610	0	...	...	...	10.392	3.6	...	0.29831
13646	1	1.1 ± 0.05	-0.07 ± 0.07	21.48 ± 0.08	9.976	1.3	-19.59	0.30544
13689	1	1.1 ± 0.04	-0.13 ± 0.05	20.89 ± 0.05	10.894	3.9	-19.69	0.25177
13727	1	1.14 ± 0.04	-0.17 ± 0.05	20.7 ± 0.05	10.339	1.9	-19.63	0.22664
13734	1	0.94 ± 0.16	0.1 ± 0.11	22.38 ± 0.21	9.505	0.7	-19.23	0.37846
13736	1	1.13 ± 0.02	-0.06 ± 0.02	19.94 ± 0.03	9.876	1.8	-19.4	0.15021
13796	1	1.06 ± 0.01	-0.07 ± 0.02	19.77 ± 0.02	10.524	4.9	-19.55	0.1487
13830	0	...	...	...	11.478	2.9	...	0.33147
13835	1	1.05 ± 0.02	-0.11 ± 0.05	20.91 ± 0.04	10.769	3.1	-19.64	0.24749
13861	1	0.53 ± 0.16	...	24.59 ± 0.38	8.417	0.6	-17.12	0.39368
13896	1	0.93 ± 0.03	0.01 ± 0.04	21.14 ± 0.04	8.754	1.5	-18.31	0.15732
13897	1	1.05 ± 0.05	0.05 ± 0.06	21.39 ± 0.06	10.807	5.3	-18.99	0.23182
14050	0	1.59 ± 0.4	1.52 ± 0.37	25.21 ± 0.41	10.096	2.8	-14.8	0.19848
14074	0	...	...	...	9.226	0.9	...	0.26192
14113	1	1.06 ± 0.04	0.13 ± 0.05	21.36 ± 0.06	10.704	1.8	-19.14	0.24232
14250	1	1.16 ± 0.05	-0.05 ± 0.06	22.01 ± 0.05	10.361	1.8	-19.52	0.36718
14311	1	0.92 ± 0.05	-0.02 ± 0.08	22.05 ± 0.08	11.209	2.5	-19.26	0.33602
14331	1	0.95 ± 0.02	-0.05 ± 0.05	21.13 ± 0.05	9.804	1.4	-19.14	0.22116
14343	1	1.09 ± 0.04	-0.06 ± 0.05	21.58 ± 0.04	9.938	1.1	-19.78	0.34305
14377	1	0.99 ± 0.02	0.1 ± 0.02	20.4 ± 0.03	11.118	3.6	-18.76	0.13941
14397	1	0.84 ± 0.05	-0.21 ± 0.08	22.11 ± 0.08	10.94	1.3	-19.56	0.38653
14500	1	0.85 ± 0.07	-0.14 ± 0.11	22.24 ± 0.11	10.257	1.1	-19.54	0.40337
14522	1	0.88 ± 0.05	-0.16 ± 0.09	22.57 ± 0.08	10.809	3.8	-19.42	0.43806
14524	0	...	...	...	10.96	3.9	...	0.27217
14525	1	1.17 ± 0.03	0.24 ± 0.03	20.92 ± 0.04	10.252	3.8	-18.49	0.15437
14548	1	0.99 ± 0.03	-0.08 ± 0.05	21.71 ± 0.06	10.491	1.8	-19.63	0.34028
14554	0	...	...	...	9.721	1.8	...	0.25087
14624	0	1.6 ± 0	...	...	11.628	0.5	...	0.43486
14644	1	0.8 ± 0.06	-0.15 ± 0.09	22.75 ± 0.09	10.001	1.2	-19.3	0.4493
14735	1	0.77 ± 0.05	-0.03 ± 0.06	21.58 ± 0.07	10.775	0.3	-19.45	0.30044
14784	0	...	...	...	10.801	4.2	...	0.19232
14826	0	0.4 ± 0	...	...	10.558	2.6	...	0.13487
14846	1	1.05 ± 0.03	-0.08 ± 0.04	20.82 ± 0.04	11.316	6.8	-19.49	0.22476
14894	1	0.86 ± 0.06	0.42 ± 0.09	22.84 ± 0.1	10.644	1.7	-19.14	0.43777
14965	1	1 ± 0.05	0.01 ± 0.06	21.4 ± 0.06	10.239	0.8	-19.46	0.281
14972	1	0.97 ± 0.06	-0.47 ± 0.16	22.32 ± 0.07	10.704	2.8	-18.31	0.25558
15006	1	0.88 ± 0.07	-0.12 ± 0.07	22.9 ± 0.14	10.989	2.6	-19.32	0.47979
15057	0	...	...	...	9.558	0.7	...	0.299
15101	1	0.74 ± 0.07	0.2 ± 0.09	22.15 ± 0.14	10.04	3.3	-17.65	0.18195
15129	1	0.92 ± 0.02	-0.07 ± 0.03	20.66 ± 0.04	11.041	2.9	-19.33	0.1974
15132	1	1.09 ± 0.01	-0.12 ± 0.02	19.74 ± 0.02	9.779	2.1	-19.66	0.15438
15136	1	0.95 ± 0.02	-0.03 ± 0.02	20.22 ± 0.03	11.248	8.7	-19.1	0.14874
15160	1	0.81 ± 0.04	0.27 ± 0.1	21.57 ± 0.06	10.775	2.1	-19.02	0.25223
15198	1	1.01 ± 0.03	-0.01 ± 0.04	21.53 ± 0.03	9.775	0.7	-19.4	0.2894
15219	1	1 ± 0.03	-0.16 ± 0.05	20.91 ± 0.04	11.159	3.9	-19.63	0.24742
15234	1	1.07 ± 0.02	0.11 ± 0.02	20.42 ± 0.02	10.724	5.6	-18.69	0.13636
15239	1	1.05 ± 0.08	0.06 ± 0.08	22.69 ± 0.11	11.055	2	-18.6	0.33423
15260	0	...	...	...	10.629	2.3	...	0.2537
15268	1	0.98 ± 0.04	-0.09 ± 0.07	21.33 ± 0.06	10.05	0.5	-19.68	0.29856
15301	1	0.97 ± 0.02	-0.1 ± 0.04	20.6 ± 0.04	10.114	2.5	-19.95	0.248
15303	1	1.06 ± 0.04	-0.12 ± 0.06	21.08 ± 0.05	9.789	3.5	-19.33	0.23435
15324	1	0.9 ± 0.04	-0.02 ± 0.06	22.43 ± 0.06	10.562	1.2	-19.28	0.3928
15351	1	0.79 ± 0.04	-0.06 ± 0.07	21.88 ± 0.08	10.636	1.8	-19.27	0.31636
15359	1	1.1 ± 0.04	-0.06 ± 0.07	21.43 ± 0.06	10.52	1.3	-19.69	0.31197
15421	1	1.01 ± 0.02	-0.05 ± 0.03	20.62 ± 0.02	10.523	4	-19.22	0.18545
15423	1	1.6 ± 0	...	...	10.408	2.5	...	0.39506
15443	1	1.12 ± 0.02	-0.11 ± 0.02	20.12 ± 0.03	10.62	3.8	-19.68	0.18191
15454	1	1.37 ± 0.15	-0.19 ± 0.12	21.83 ± 0.24	11.378	3.2	-19.81	0.38305
15459	1	1.04 ± 0.02	0.09 ± 0.02	20.42 ± 0.03	8.171	2.1	-18.52	0.12679
15461	1	0.98 ± 0.02	-0.09 ± 0.03	20.36 ± 0.03	10.619	4.1	-19.49	0.18617
15467	1	1.06 ± 0.02	-0.07 ± 0.04	20.53 ± 0.04	10.967	4.9	-19.61	0.20978
15503	1	0.95 ± 0.06	-0.02 ± 0.06	22.67 ± 0.09	10.926	3.1	-19.14	0.40964
15508	1	1.08 ± 0.01	-0.1 ± 0.02	19.57 ± 0.02	10.319	4.6	-19.51	0.1346
15516	1	1.16 ± 0.06	-0.03 ± 0.07	22.44 ± 0.07	9.651	0.9	-19.08	0.36532
15558	0	...	...	...	9.723	0.3	...	0.30594
15568	1	0.4 ± 0	...	...	11.377	5.6	...	0.20661
15584	1	1.05 ± 0.04	-0.12 ± 0.07	21.26 ± 0.06	11.43	1.5	-19.63	0.28422
15587	1	1.02 ± 0.03	-0.05 ± 0.05	20.86 ± 0.04	11.003	4.1	-19.38	0.21885
15704	0	0.41 ± 0.11	-1.6 ± 0.18	18.63 ± 0.18	11.186	1.9	-22.93	0.37055
15755	1	0.92 ± 0.03	0.02 ± 0.06	21.58 ± 0.06	10.806	2.6	-19.28	0.28111
15779	1	1.02 ± 0.06	0.04 ± 0.11	22 ± 0.06	10.744	3	-18.7	0.26254
15784	1	0.99 ± 0.04	0.19 ± 0.06	21.51 ± 0.07	9.466	1.7	-18.22	0.1769
15805	1	1.02 ± 0.05	0.2 ± 0.07	22.55 ± 0.09	11.076	1.1	-18.43	0.29537
15814	1	1.12 ± 0.05	-0.01 ± 0.06	21.9 ± 0.05	10.092	1	-19.66	0.37118
15829	1	1.25 ± 0.07	0.24 ± 0.07	22.08 ± 0.06	8.641	0.8	-18.48	0.24886

Continúa en la siguiente página

Tabla C.5: continuación

Objeto	Corte	s	C	m_B	$\log[M_*/M_\odot]$	SNR	M_B	z
15868	1	1.05 ± 0.02	-0.46 ± 0.06	20.7 ± 0.05	10.625	1.3	-19.88	0.25072
15872	1	1.06 ± 0.03	-0.12 ± 0.08	20.52 ± 0.03	8.631	2.6	-19.58	0.20646
15874	1	1.11 ± 0.07	-0.13 ± 0.09	22.46 ± 0.07	10.753	1.7	-19.31	0.40274
15892	1	0.86 ± 0.03	0.23 ± 0.05	21.41 ± 0.08	11.112	6.9	-18.42	0.18408
15901	1	1.01 ± 0.02	-0.04 ± 0.04	20.77 ± 0.03	9.178	3.2	-19.31	0.20474
15950	1	0.82 ± 0.03	0.04 ± 0.06	21.17 ± 0.06	11.558	7.7	-19.09	0.22043
15987	1	1.2 ± 0.07	-0.15 ± 0.09	22.52 ± 0.09	9.711	0.6	-19.48	0.44093
16021	1	0.97 ± 0.02	-0.04 ± 0.02	19.57 ± 0.02	10.448	5.7	-19.32	0.1246
16069	1	1.07 ± 0.02	0.18 ± 0.02	20.11 ± 0.03	10.984	6.8	-18.86	0.12825
16073	1	1.04 ± 0.02	-0.06 ± 0.02	20.2 ± 0.02	10.063	3	-19.21	0.15472
16093	0	...	...	...	9.892	0.6	...	0.33603
16099	1	1.16 ± 0.03	-0.13 ± 0.03	20.53 ± 0.03	10.95	3.6	-19.46	0.19695
16116	1	0.98 ± 0.02	-0.18 ± 0.02	19.83 ± 0.02	9.557	3	-19.6	0.15649
16163	1	0.74 ± 0.03	0.13 ± 0.05	21.13 ± 0.07	10.933	6.6	-18.28	0.15504
16199	1	1.12 ± 0.06	0.14 ± 0.05	21.74 ± 0.06	10.247	0.7	-19.13	0.28239
16232	0	...	...	...	10.921	1.6	...	0.37572
16236	1	1.24 ± 0.11	-0.06 ± 0.08	22.48 ± 0.1	10.009	1.9	-19.31	0.406
16237	1	0.97 ± 0.05	-0.17 ± 0.08	21.58 ± 0.07	10.643	0.7	-19.55	0.31315
16314	0	1.09 ± 0.02	-0.04 ± 0.01	17.73 ± 0.02	9.16	3.4	-19.58	0.06257
16352	0	1.08 ± 0.07	-0.11 ± 0.05	20.83 ± 0.04	9.327	0.9	-19.76	0.25227
16414	0	1.15 ± 0.1	0 ± 0.08	21.41 ± 0.06	9.917	0.4	-19.68	0.30773
16458	1	0.86 ± 0.05	0.01 ± 0.12	22 ± 0.09	10.152	3.9	-17.86	0.18637
16472	1	1.17 ± 0.11	0.11 ± 0.08	22.12 ± 0.08	11.116	1.7	-18.98	0.30995
16477	1	1.01 ± 0.08	-0.02 ± 0.09	22.35 ± 0.09	10.585	1.6	-19.41	0.40106
16484	0	0.4 ± 0	...	...	8.879	0.6	...	0.25664
16546	1	1.42 ± 0.19	0.27 ± 0.1	22.63 ± 0.1	10.242	2.3	-18.9	0.36631
16618	0	1.01 ± 0.07	-0.1 ± 0.04	20.4 ± 0.05	10.706	2.7	-19.54	0.19315
16637	1	0.73 ± 0.04	-0.18 ± 0.08	20.92 ± 0.06	11.556	4.9	-19.58	0.24293
16644	0	...	...	...	10.91	2.4	...	0.29881
16652	1	1 ± 0.06	-0.03 ± 0.05	21.37 ± 0.05	9.999	0.6	-19.09	0.23934
16748	0	1.14 ± 0.17	-0.06 ± 0.08	21.07 ± 0.1	10.962	4.3	-19.32	0.2321
16849	1	0.6 ± 0.03	-0.04 ± 0.09	21.64 ± 0.04	9.411	2.2	-17.86	0.16032
16872	0	1.6 ± 0	...	...	9.122	2.1	...	0.12111
16953	1	1.09 ± 0.12	-0.04 ± 0.08	22.35 ± 0.08	9.431	0.8	-18.98	0.33921
17115	1	1.6 ± 0	...	...	9.203	2	...	0.21755
17117	0	1.6 ± 0	...	...	10.102	3.7	...	0.14015
17168	1	1.05 ± 0.03	-0.04 ± 0.03	20.62 ± 0.04	9.244	2.9	-19.22	0.18519
17176	1	0.53 ± 0.07	0.26 ± 0.03	19.99 ± 0.08	8.252	2.6	-18.24	0.09341
17205	1	1.02 ± 0.09	-0.15 ± 0.05	20.59 ± 0.13	9.283	4.4	-19.34	0.19225
17206	1	0.88 ± 0.05	0.13 ± 0.04	20.81 ± 0.07	10.815	3.8	-18.63	0.15647
17218	1	0.4 ± 0	...	...	10.337	4.8	...	0.17839
17219	1	0.73 ± 0.1	-0.09 ± 0.06	20.69 ± 0.1	10.668	5.7	-19.26	0.19429
17254	0	1.44 ± 0.11	-0.36 ± 0.06	19.49 ± 0.13	10.675	2.8	-21.26	0.26883
17258	0	1.1 ± 0.07	0.05 ± 0.05	18.79 ± 0.12	9.431	3.6	-19.32	0.08896
17263	1	0.43 ± 0.2	0.59 ± 0.04	20.37 ± 0.13	10.562	7.5	-16.83	0.05976
17280	0	0.91 ± 0.07	-0.18 ± 0.07	19.65 ± 0.18	11.136	8	-19.37	0.13098
17372	1	1.17 ± 0.25	0.1 ± 0.13	21.95 ± 0.33	9.799	3.4	-17.32	0.14613
17389	0	...	...	...	10.199	4.3	...	0.1709
17393	1	1.53 ± 0.45	0.06 ± 0.19	25.84 ± 0.44	9.588	1.3	-14.39	0.2174
17433	1	0.4 ± 0	...	...	9.259	1	...	0.28801
17473	1	1.17 ± 0.16	0.16 ± 0.25	24.43 ± 0.25	10.113	3.7	-15.21	0.17042
17497	1	1.03 ± 0.01	-0.01 ± 0.02	19.98 ± 0.02	10.657	6.1	-19.27	0.14479
17647	1	1.2 ± 0.04	-0.1 ± 0.04	21.48 ± 0.04	10.378	0.9	-20.48	0.434
17687	0	...	...	...	10.77	0.2	...	0.30323
17695	1	0.96 ± 0.03	0.31 ± 0.04	21.24 ± 0.05	9.024	2	-18.57	0.18291
17745	1	1.12 ± 0.01	-0.04 ± 0.01	17.88 ± 0.03	9.133	2.9	-19.46	0.06341
17748	1	1.11 ± 0.06	0.08 ± 0.05	21.11 ± 0.06	10.253	2.2	-18.66	0.17957
17773	1	0.66 ± 0.04	-0.18 ± 0.06	21.31 ± 0.07	10.544	0.9	-19.61	0.28803
17784	1	0.92 ± 0.01	0.15 ± 0.01	17.27 ± 0.05	9.642	3	-18.86	0.03707
17809	1	1.11 ± 0.03	0.05 ± 0.04	21.47 ± 0.04	10.387	0.4	-19.46	0.28896
17880	1	0.92 ± 0.01	0.18 ± 0.02	18.95 ± 0.03	10.616	5.7	-18.7	0.07267
17884	1	1.02 ± 0.03	-0.14 ± 0.05	20.66 ± 0.04	10.587	3.1	-19.8	0.23893
17899	0	...	...	...	10.032	1.3	...	0.28882
17907	1	0.95 ± 0.06	-0.03 ± 0.05	20.6 ± 0.09	10.422	4.6	-19.35	0.19391
17965	1	1.07 ± 0.04	-0.02 ± 0.06	21.84 ± 0.07	9.985	1.2	-19.31	0.31553
17967	1	0.96 ± 0.05	-0.12 ± 0.08	21.79 ± 0.08	11.178	3.3	-19.82	0.37841
18010	1	1.04 ± 0.09	-0.08 ± 0.08	22.47 ± 0.09	9.997	1.2	-18.62	0.30853
18030	1	0.91 ± 0.03	0.05 ± 0.03	20.4 ± 0.06	9.756	3.7	-19.04	0.15653
18049	1	1.08 ± 0.05	-0.07 ± 0.06	21.51 ± 0.08	10.033	1.2	-19.41	0.2886
18083	0	...	...	...	9.115	0.6	...	0.2894
18091	1	0.83 ± 0.05	-0.27 ± 0.08	21.78 ± 0.09	11.098	3.2	-19.78	0.37114
18179	1	1.01 ± 0.12	-0.03 ± 0.08	23.27 ± 0.26	9.662	2	-18.77	0.44699
18189	0	...	...	...	11.276	3	...	0.28582
18201	1	0.96 ± 0.05	-0.01 ± 0.06	21.64 ± 0.08	11.165	4.1	-19.33	0.29303
18253	1	1.6 ± 0	...	...	10.661	2.3	...	0.28057
18254	1	1.17 ± 0.39	0.37 ± 0.22	25.62 ± 0.42	10.524	1.5	-15.57	0.31994
18273	1	0.67 ± 0.04	-0.01 ± 0.08	21.98 ± 0.1	10.087	2.7	-19.18	0.31618
18312	1	0.92 ± 0.05	-0.11 ± 0.09	22.51 ± 0.09	9.274	0.1	-19.57	0.45415
18323	1	0.98 ± 0.02	-0.05 ± 0.03	20.18 ± 0.04	9.593	2.5	-19.22	0.15408

Continúa en la siguiente página

Tabla C.5: continuación

Objeto	Corte	s	C	m_B	$\log[M_*/M_\odot]$	SNR	M_B	z
18333	1	0.79 ± 0.04	0.22 ± 0.08	21.7 ± 0.09	10.792	1.8	-18.91	0.25398
18339	1	0.92 ± 0.04	-0.11 ± 0.06	21.73 ± 0.08	10.678	0.8	-19.65	0.34593
18363	0	...	...	...	9.631	1.3	...	0.30853
18374	0	...	...	...	10.313	0.5	...	0.31984
18375	1	1.11 ± 0.01	0.01 ± 0.01	19.23 ± 0.02	10.487	7.4	-19.38	0.11051
18463	1	1.11 ± 0.04	-0.06 ± 0.04	21.32 ± 0.04	10.381	0.9	-19.42	0.26822
18473	1	0.84 ± 0.08	-0.21 ± 0.08	22.16 ± 0.12	11.121	3.2	-19.33	0.36221
18588	1	1.06 ± 0.07	0.06 ± 0.11	22.05 ± 0.07	9.808	1.6	-18.53	0.25132
18602	1	1.12 ± 0.02	0.01 ± 0.02	20.07 ± 0.03	7.578	1.5	-19.07	0.13834
18606	0	...	...	...	10.421	1	...	0.33853
18612	1	0.92 ± 0.02	0.02 ± 0.02	19.6 ± 0.02	10.813	6.2	-19.11	0.11489
18697	1	1.06 ± 0.02	0.02 ± 0.01	19.22 ± 0.01	10.8	5.9	-19.33	0.10762
18704	1	0.4 ± 0	...	...	9.484	1.5	...	0.33198
18836	0	...	...	...	11.138	1.6	...	0.30008
18851	1	0.83 ± 0.03	0.02 ± 0.06	21.48 ± 0.07	10.89	3.5	-19.49	0.29284
18855	1	1.03 ± 0.02	-0.03 ± 0.02	19.7 ± 0.04	10.434	3.8	-19.26	0.12783
18903	1	1.16 ± 0.03	0.41 ± 0.03	21.16 ± 0.03	11.335	5.5	-18.27	0.15627
18940	1	0.91 ± 0.02	-0.13 ± 0.04	20.83 ± 0.04	10.633	2.1	-19.34	0.21236
18942	1	1.09 ± 0.07	-0.32 ± 0.23	22.31 ± 0.07	10.584	0.4	-19.48	0.40659
18943	1	0.93 ± 0.04	0.01 ± 0.07	21.77 ± 0.07	10.587	1.9	-19.64	0.3502
18945	0	...	...	...	10.031	0.9	...	0.27
19000	1	1.07 ± 0.03	-0.09 ± 0.04	21.37 ± 0.04	9.692	1.2	-19.53	0.28613
19027	1	1.04 ± 0.04	0.01 ± 0.05	21.39 ± 0.05	9.727	0.6	-19.58	0.29263
19048	1	1.14 ± 0.06	0.27 ± 0.06	21.8 ± 0.06	10.535	7.9	-17.31	0.13679
19052	0	0.81 ± 0.04	-0.1 ± 0.07	21.91 ± 0.12	9.893	0.9	-19.07	0.29462
19078	1	0.81 ± 0.04	0.02 ± 0.07	22.5 ± 0.07	10.252	0.7	-19.25	0.40048
19149	1	1.12 ± 0.02	0.05 ± 0.02	20.4 ± 0.03	9.055	2.3	-19.75	0.21131
19155	1	1.06 ± 0.01	-0.09 ± 0.01	18.16 ± 0.02	10.899	4.4	-19.64	0.0776
19205	1	1.13 ± 0.04	-0.03 ± 0.05	21.81 ± 0.04	9.884	0.5	-19.49	0.3346
19274	1	1.01 ± 0.27	0.53 ± 0.38	22 ± 0.83	10.582	1.4	-18.62	0.25459
19346	1	1.06 ± 0.06	-0.01 ± 0.07	22.44 ± 0.08	10.407	0.4	-19.06	0.36197
19353	1	1.06 ± 0.02	0 ± 0.02	20.18 ± 0.03	11.199	4.2	-19.22	0.15406
19616	1	1.02 ± 0.02	-0.03 ± 0.02	20.22 ± 0.03	11.244	8	-19.35	0.16549
19625	1	0.87 ± 0.04	-0.08 ± 0.06	21.91 ± 0.07	10.293	0.9	-19.16	0.30494
19626	1	1.19 ± 0.02	0.27 ± 0.02	20.59 ± 0.04	10.322	2.9	-18.08	0.11321
19723	1	0.97 ± 0.03	0.1 ± 0.06	21.54 ± 0.05	10.528	0.6	-19.09	0.25541
19764	0	0.4 ± 0	...	...	10.697	2	...	0.40547
19769	1	1.01 ± 0.06	...	21.88 ± 0.1	10.596	2.4	-18.71	0.25251
19804	1	0.82 ± 0.04	-0.56 ± 0.1	21.48 ± 0.1	10.76	4.3	-18.75	0.2176
19818	1	1.1 ± 0.04	-0.1 ± 0.07	21.29 ± 0.06	10.345	2	-19.78	0.30503
19953	1	1.07 ± 0.02	-0.08 ± 0.01	19.22 ± 0.02	9.94	3.2	-19.65	0.12323
19969	1	0.97 ± 0.02	-0.04 ± 0.02	20.4 ± 0.03	10.477	4.8	-19.31	0.17532
20046	1	1.19 ± 0.04	0.03 ± 0.08	21.39 ± 0.04	10.356	2.1	-19.31	0.26395
20051	1	1.11 ± 0.05	-0.13 ± 0.06	20.88 ± 0.06	10.182	2.4	-19.54	0.23515
20084	1	0.97 ± 0.02	0.15 ± 0.03	20.51 ± 0.03	9.037	4.1	-18.66	0.13973
20185	1	0.88 ± 0.07	...	22.18 ± 0.16	10.898	2.6	-18.44	0.25485
20208	1	0.65 ± 0.02	0.08 ± 0.03	20.81 ± 0.04	9.812	3.8	-15.67	0.04336
20217	1	1.03 ± 0.06	0.09 ± 0.07	22.42 ± 0.07	10.987	2.3	-19.12	0.36884
20231	1	0.67 ± 0.07	-0.12 ± 0.07	21.85 ± 0.07	10.106	1.3	-19.75	0.37668
20257	1	0.85 ± 0.04	-0.07 ± 0.07	21.99 ± 0.06	9.949	1.2	-19.04	0.30172
20262	0	1.6 ± 0	...	...	10.487	1.3	...	0.26094
20267	1	0.6 ± 0.06	-0.11 ± 0.08	22.13 ± 0.08	10.537	2.9	-19.63	0.4012
20319	1	0.92 ± 0.06	0.06 ± 0.09	22.04 ± 0.09	10.646	2.9	-19.14	0.31886
20331	0	...	...	...	11.154	6.9	...	0.18451
20345	1	0.83 ± 0.04	-0.08 ± 0.06	21.19 ± 0.04	10.282	0.9	-19.52	0.265
20467	1	1.17 ± 0.05	-0.07 ± 0.04	21.73 ± 0.05	10.169	1.7	-19.04	0.27095
20476	1	1.6 ± 0	...	...	9.837	3	...	0.16912
20480	1	1.16 ± 0.08	0.27 ± 0.07	22.08 ± 0.09	10.079	3.6	-17.52	0.1678
20528	1	0.94 ± 0.02	0.06 ± 0.02	20.06 ± 0.03	11.445	4.1	-19.04	0.13569
20553	1	0.94 ± 0.08	-0.13 ± 0.07	21.99 ± 0.06	11.784	1.7	-19.41	0.34881
20560	0	...	...	...	8.692	0.4	...	0.37383
20562	1	0.72 ± 0.04	0.04 ± 0.07	22.61 ± 0.07	9.249	1.3	-18.71	0.33754
20581	1	0.98 ± 0.04	-0.11 ± 0.03	20.59 ± 0.04	9.965	2.9	-19.49	0.20481
20613	1	1.08 ± 0.08	0.05 ± 0.07	22.14 ± 0.06	9.996	2.3	-19.45	0.37504
20625	1	0.69 ± 0.01	-0.06 ± 0.02	19.38 ± 0.02	10.784	5.9	-19.19	0.10813
20687	1	0.85 ± 0.04	0.4 ± 0.04	21.2 ± 0.06	11.19	5.5	-18.72	0.19154
20721	1	0.95 ± 0.05	0.28 ± 0.07	21.79 ± 0.05	10.171	3.9	-18.37	0.21178
20764	1	0.91 ± 0.03	-0.09 ± 0.03	20.27 ± 0.03	11.175	5.9	-19.31	0.1659
20788	1	0.93 ± 0.07	-0.16 ± 0.09	22.26 ± 0.1	11.021	2.8	-19.45	0.39337
20830	1	0.61 ± 0.07	-0.99 ± 0.08	22.52 ± 0.11	10.638	6.1	-17	0.16206
21034	1	1.03 ± 0.03	0.12 ± 0.02	19.5 ± 0.02	10.895	8.5	-19.08	0.10855
21060	1	0.59 ± 0.05	-0.15 ± 0.1	22.39 ± 0.09	9.695	0.4	-19.42	0.40926
21062	1	1.16 ± 0.04	0.06 ± 0.02	20.45 ± 0.03	9.144	2.9	-18.7	0.13864
21129	1	1.6 ± 0	...	...	10.028	0.9	...	0.40205
21413	0	...	...	...	9.992	1	...	0.45673
21543	0	...	...	...	10.771	1.9	...	0.32484
21589	1	0.86 ± 0.09	0.09 ± 0.08	22.29 ± 0.08	11.149	2.4	-18.51	0.27343
21594	1	0.73 ± 0.07	-0.22 ± 0.08	22.69 ± 0.1	9.681	1.9	-19.37	0.45113
21839	0	0.99 ± 0.08	-0.05 ± 0.03	18.92 ± 0.06	8.375	1.6	-19.29	0.09272

Continúa en la siguiente página

Tabla C.5: continuación

Objeto	Corte	s	C	m_B	$\log[M_*/M_\odot]$	SNR	M_B	z
21861	0	1.5 ± 0.22	-0.18 ± 0.07	20.15 ± 0.12	8.195	1.7	-19.72	0.18734
21872	1	0.61 ± 0.05	0.07 ± 0.09	22.41 ± 0.14	11.337	6.6	-17.94	0.22847
21890	1	0.86 ± 0.09	-0.06 ± 0.08	22.16 ± 0.08	10.348	0.9	-19.36	0.36478
1992p	1	1.11 ± 0.1	-0.09 ± 0.02	16.04 ± 0.03	11.078	3.5	-19.24	0.02531
1994s	1	1.03 ± 0.03	-0.05 ± 0.03	14.78 ± 0.02	11.163	4.2	-19.39	0.01524
1995ac	1	1.07 ± 0.01	-0.05 ± 0.01	17.06 ± 0.02	11.262	4.7	-19.74	0.0499
1997y	0	0.98 ± 0.03	-0.09 ± 0.02	15.23 ± 0.07	10.912	3.3	-19.03	0.01595
2001g	0	1.01 ± 0.04	-0.11 ± 0.03	14.88 ± 0.23	10.245	4.6	-19.49	0.0167
2002ck	0	1.04 ± 0.03	-0.06 ± 0.03	16.22 ± 0.11	6.901	8.4	-19.42	0.02974
2004as	1	0.97 ± 0.01	0.05 ± 0.01	16.93 ± 0.01	9.581	4.1	-18.83	0.03139
2004bg	1	1.02 ± 0.02	-0.1 ± 0.01	15.46 ± 0.02	10.943	5.1	-19.43	0.0211
2005bg	1	1.04 ± 0.02	0.02 ± 0.02	15.8 ± 0.02	10.686	11.8	-19.28	0.02303
2005eq	1	1.15 ± 0.01	0.01 ± 0.02	16.24 ± 0.03	11.388	4.8	-19.34	0.02891
2005hj	1	1.15 ± 0.02	-0.07 ± 0.02	17.69 ± 0.02	9.923	7	-19.43	0.0574
2005ir	1	1.04 ± 0.02	0.03 ± 0.02	18.44 ± 0.02	10.773	7.7	-19.31	0.07602
2005ms	1	1.03 ± 0.01	-0.03 ± 0.02	16.11 ± 0.02	10.881	11.1	-19.16	0.02522
2006ar	0	0.93 ± 0.02	0.15 ± 0.01	16.47 ± 0.01	10.436	9.2	-18.56	0.02249
2006cj	1	1.31 ± 0.1	-0.1 ± 0.02	18.1 ± 0.04	10.989	5.5	-19.39	0.06771
2006cp	1	1.02 ± 0.01	0.14 ± 0.03	15.92 ± 0.02	10.635	8.1	-19.09	0.0223
2006te	1	1.01 ± 0.02	-0.08 ± 0.02	16.51 ± 0.04	10.991	6.6	-19.26	0.03155
2007f	1	1.06 ± 0.01	-0.03 ± 0.01	15.88 ± 0.01	10.552	8.5	-19.25	0.02362
2007o	1	1.01 ± 0.02	0.08 ± 0.13	16.69 ± 0.05	11.293	8.3	-19.39	0.03616

Bibliografía

- ALAM, S., ALBARETI, F. D., ALLENDE PRIETO, C., ANDERS, F., ANDERSON, S. F., ANDERTON, T., ANDREWS, B. H., ARMENGAUD, E., AUBOURG, É., BAILEY, S. y ET AL. The Eleventh and Twelfth Data Releases of the Sloan Digital Sky Survey: Final Data from SDSS-III. *ApJS*, vol. 219, página 12, 2015.
- ALLOIN, D., COLLIN-SOUFFRIN, S., JOLY, M. y VIGROUX, L. Nitrogen and oxygen abundances in galaxies. *A&A*, vol. 78, páginas 200–216, 1979.
- ALTAVILLA, G., FIORENTINO, G., MARCONI, M., MUSELLA, I., CAPPELLARO, E., BARBON, R., BENETTI, S., PASTORELLO, A., RIELLO, M., TURATTO, M. y ZAMPIERI, L. Cepheid calibration of Type Ia supernovae and the Hubble constant. *MNRAS*, vol. 349, páginas 1344–1352, 2004.
- ALTAVILLA, G., RUIZ-LAPUENTE, P., BALASTEGUI, A., MÉNDEZ, J., IRWIN, M., ESPAÑA-BONET, C., ELLIS, R. S., FOLATELLI, G., GOOBAR, A., HILLEBRANDT, W., McMAHON, R. M., NOBILI, S., STANISHEV, V. y WALTON, N. A. Type Ia SNe Along Redshift: The R(Si II) Ratio and the Expansion Velocities in Intermediate-z Supernovae. *ApJ*, vol. 695, páginas 135–148, 2009.
- AMANULLAH, R., GOOBAR, A., JOHANSSON, J., BANERJEE, D. P. K., VENKATARAMAN, V., JOSHI, V., ASHOK, N. M., CAO, Y., KASLIWAL, M. M., KULKARNI, S. R., NUGENT, P. E., PETRUSHEVSKA, T. y STANISHEV, V. The Peculiar Extinction Law of SN 2014J Measured with the Hubble Space Telescope. *ApJL*, vol. 788, página L21, 2014.
- ANDERSON, J. P., GONZÁLEZ-GAITÁN, S., HAMUY, M., GUTIÉRREZ, C. P., STRITZINGER, M. D., OLIVARES E., F., PHILLIPS, M. M., SCHULZE, S., ANTEZANA, R., BOLT, L., CAMPILLAY, A., CASTELLÓN, S., CONTRERAS, C., DE JAEGER, T., FOLATELLI, G., FÖRSTER, F., FREEDMAN, W. L., GONZÁLEZ, L., HSIAO, E., KRZEMIŃSKI, W., KRSCIUNAS, K., MAZA, J., MCCARTHY, P., MORRELL, N. I., PERSSON, S. E., ROTH, M., SALGADO, F., SUNTZEFF, N. B. y THOMAS-OSIP, J. Characterizing the V-band Light-curves of Hydrogen-rich Type II Supernovae. *ApJ*, vol. 786, página 67, 2014.
- ANUPAMA, G. C., SAHU, D. K. y JOSE, J. Type Ia supernova SN 2003du: Optical observations. *A&A*, vol. 429, páginas 667–676, 2005.
- ARNETT, W. D. Type I supernovae. I - Analytic solutions for the early part of the light curve. *ApJ*, vol. 253, páginas 785–797, 1982.
- ASARI, N. V., CID FERNANDES, R., STASIŃSKA, G., TORRES-PAPAQUI, J. P., MATEUS, A., SODRÉ, L., SCHOENELL, W. y GOMES, J. M. The history of star-forming galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. *MNRAS*, vol. 381, páginas 263–279, 2007.
- ASHALL, C., MAZZALI, P., BERSIER, D., HACHINGER, S., PHILLIPS, M., PERCIVAL, S., JAMES, P. y MAGUIRE, K. Photometric and spectroscopic observations, and abundance tomography modelling of the Type Ia supernova SN 2014J located in M82. *MNRAS*, vol. 445, páginas 4427–4437, 2014.
- ASPLUND, M., GREVESSE, N., SAUVAL, A. J. y SCOTT, P. The Chemical Composition of the Sun. *ARA&A*, vol. 47, páginas 481–522, 2009.

- ASTIER, P., GUY, J., REGNAULT, N., PAIN, R., AUBOURG, E., BALAM, D., BASA, S., CARLBERG, R. G., FABBRO, S., FOUCHEZ, D., HOOK, I. M., HOWELL, D. A., LAFoux, H., NEILL, J. D., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PERRETT, K., PRITCHET, C. J., RICH, J., SULLIVAN, M., TAILLET, R., ALDERING, G., ANTILOGUS, P., ARSENIJEVIC, V., BALLAND, C., BAUMONT, S., BRONDER, J., COURTOIS, H., ELLIS, R. S., FILIOL, M., GONÇALVES, A. C., GOOBAR, A., GUIDE, D., HARDIN, D., LUSSET, V., LIDMAN, C., MCMAHON, R., MOUCHET, M., MOURAO, A., PERLMUTTER, S., RIPOCHE, P., TAO, C. y WALTON, N. The Supernova Legacy Survey: measurement of Ω_M , Ω_Λ and w from the first year data set. *A&A*, vol. 447, páginas 31–48, 2006.
- BAADE, W. y ZWICKY, F. On Super-novae. *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 20, páginas 254–259, 1934.
- BALDWIN, J. A., PHILLIPS, M. M. y TERLEVICH, R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. *PASP*, vol. 93, páginas 5–19, 1981.
- BENETTI, S., CAPPELLARO, E., MAZZALI, P. A., TURATTO, M., ALTAVILLA, G., BUFANO, F., ELIAS-ROSA, N., KOTAK, R., PIGNATA, G., SALVO, M. y STANISHEV, V. The Diversity of Type Ia Supernovae: Evidence for Systematics? *ApJ*, vol. 623, páginas 1011–1016, 2005.
- BESWICK, R., MUXLOW, T. W. M., PEREZ-TORRES, M., LUNDQVIST, P., ARGO, M. K., BJORNSSON, C. I., FRANSSON, C., RYDER, S., SCHMIDT, B., ANDERSON, G. y FENDER, R. Upper limits to the radio emission of the Type Ia SN 2014J from eMERLIN observations. *The Astronomer's Telegram*, vol. 6149, página 1, 2014.
- BETOULE, M., KESSLER, R., GUY, J., MOSHER, J., HARDIN, D., BISWAS, R., ASTIER, P., EL-HAGE, P., KONIG, M., KUHLMANN, S., MARRINER, J., PAIN, R., REGNAULT, N., BALLAND, C., BASSETT, B. A., BROWN, P. J., CAMPBELL, H., CARLBERG, R. G., CELLIER-HOLZEM, F., CINABRO, D., CONLEY, A., D'ÁNDREA, C. B., DEPOY, D. L., DOI, M., ELLIS, R. S., FABBRO, S., FILIPPENKO, A. V., FOLEY, R. J., FRIEMAN, J. A., FOUCHEZ, D., GALBANY, L., GOOBAR, A., GUPTA, R. R., HILL, G. J., HLOZEK, R., HOGAN, C. J., HOOK, I. M., HOWELL, D. A., JHA, S. W., LE GUILLOU, L., LELOUDAS, G., LIDMAN, C., MARSHALL, J. L., MÖLLER, A., MOURÃO, A. M., NEVEU, J., NICHOL, R., OLMSTEAD, M. D., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PERLMUTTER, S., PRIETO, J. L., PRITCHET, C. J., RICHMOND, M., RIESS, A. G., RUHLMANN-KLEIDER, V., SAKO, M., SCHAHMANECHE, K., SCHNEIDER, D. P., SMITH, M., SOLLERMAN, J., SULLIVAN, M., WALTON, N. A. y WHEELER, C. J. Improved cosmological constraints from a joint analysis of the SDSS-II and SNLS supernova samples. *A&A*, vol. 568, página A22, 2014.
- BONEV, T., TOMOV, T., SWIERCZYNSKI, E., ILIEV, I., DIMITROV, D., MARKOV, H., STOYANOV, K., BELCHEVA, M., NIKOLOV, G., NIKOLOV, P., CHANLIEV, D., CHURALSKI, M., NIKOLOV, Y., KURTENKOV, A., STATEVA, I., PETROV, N., DIMITROV, W., MUSAEV, F., TSVETANOV, Z., MILOUSHEV, I. y TENEV, T. Optical spectroscopy and photometry of SN2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5829, página 1, 2014.
- BRANCH, D., DANG, L. C., HALL, N., KETCHUM, W., MELAKAYIL, M., PARRENT, J., TROXEL, M. A., CASEBEER, D., JEFFERY, D. J. y BARON, E. Comparative Direct Analysis of Type Ia Supernova Spectra. II. Maximum Light. *PASP*, vol. 118, páginas 560–571, 2006.
- BRANCH, D. y MILLER, D. L. Type Ia supernovae as standard candles. *ApJL*, vol. 405, páginas L5–L8, 1993.
- BRAVO, E., DOMÍNGUEZ, I., BADENES, C., PIERSANTI, L. y STRANIERO, O. Metallicity as a Source of Dispersion in the SNIa Bolometric Light Curve Luminosity-Width Relationship. *ApJL*, vol. 711, páginas L66–L70, 2010.
- BRESOLIN, F., KENNICUTT, R. C. y RYAN-WEBER, E. Gas Metallicities in the Extended Disks of NGC 1512 and NGC 3621. Chemical Signatures of Metal Mixing or Enriched Gas Accretion? *ApJ*, vol. 750, página 122, 2012.
- BROWN, P. J. y EVANS, P. A. Swift UVOT and XRT observations of SN2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5809, página 1, 2014.

- BROWN, P. J., SMITKA, M. T., WANG, L., BREEVELD, A., DE PASQUALE, M., HARTMANN, D. H., KRISCIUNAS, K., KUIN, N. P., MILNE, P. A., PAGE, M. y SIEGEL, M. Swift Ultraviolet Observations of Supernova 2014J in M82: Large Extinction from Interstellar Dust. *ApJ*, vol. 805, página 74, 2015.
- CAMPBELL, H., FRASER, M. y GILMORE, G. How SN Ia host-galaxy properties affect cosmological parameters. *MNRAS*, vol. 457, páginas 3470–3491, 2016.
- CAO, Y., KASLIWAL, M. M., MCKAY, A. y BRADLEY, A. Classification of Supernova in M82 as a young, reddened Type Ia Supernova. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5786, página 1, 2014.
- CARDELLI, J. A., CLAYTON, G. C. y MATHIS, J. S. The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction. *ApJ*, vol. 345, páginas 245–256, 1989.
- CASTAÑEDA, H. O., VÍLCHEZ, J. M. y COPETTI, M. V. F. Density studies on giant extragalactic H II regions. *A&A*, vol. 260, páginas 370–380, 1992.
- CHANDLER, C. J. y MARVIL, J. Sensitive upper limits on the radio emission from SN 2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5812, página 1, 2014.
- CHANDRA, P., BASU, A., RAY, A. y CHAKRABORTY, S. GMRT radio observations of SN 2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5804, página 1, 2014.
- CHILDRESS, M., ALDERING, G., ANTILOGUS, P., ARAGON, C., BAILEY, S., BALTAY, C., BONGARD, S., BUTON, C., CANTO, A., CELLIER-HOLZEM, F., CHOTARD, N., COPIN, Y., FAKHOURI, H. K., GANGLER, E., GUY, J., HSIAO, E. Y., KERSCHHAGGL, M., KIM, A. G., KOWALSKI, M., LOKEN, S., NUGENT, P., PAECH, K., PAIN, R., PECONTAL, E., PEREIRA, R., PERLMUTTER, S., RABINOWITZ, D., RIGAULT, M., RUNGE, K., SCALZO, R., SMADJA, G., TAO, C., THOMAS, R. C., WEAVER, B. A. y WU, C. Host Galaxy Properties and Hubble Residuals of Type Ia Supernovae from the Nearby Supernova Factory. *ApJ*, vol. 770, página 108, 2013.
- CHOMIUK, L., ZAUDERER, B. A., MARGUTTI, R. y SODERBERG, A. Radio/Millimeter Non-Detection of Type Ia SN 2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5800, página 1, 2014.
- CHURAZOV, E., SUNYAEV, R., GREBENEV, S., ISERN, J., JEAN, P., KNODLSIEDER, J., LEBRUN, F., RENAUD, M., BRAVO, E., DIEHL, R. y KUULKERS, E. Detection of the 847 keV gamma-ray line of radio-active Co56 from the Type Ia Supernova SN2014J in M82 with INTEGRAL. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5992, página 1, 2014.
- CID FERNANDES, R., SCHOENELL, W., GOMES, J. M., ASARI, N. V., SCHLICKMANN, M., MATEUS, A., STASINSKA, G., SODRÉ, L., JR., TORRES-PAPAQUI, J. P. y SEAGAL COLLABORATION. The Star Formation Histories of Galaxies: A tour through the STARLIGHT-SDSS database. En *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, vol. 35 de *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, vol. 27, páginas 127–132. 2009.
- COLGATE, S. A. y MCKEE, C. Early Supernova Luminosity. *ApJ*, vol. 157, página 623, 1969.
- CONLEY, A., SULLIVAN, M., HSIAO, E. Y., GUY, J., ASTIER, P., BALAM, D., BALLAND, C., BASA, S., CARLBERG, R. G., FOUCHEZ, D., HARDIN, D., HOWELL, D. A., HOOK, I. M., PAIN, R., PERRETT, K., PRITCHET, C. J. y REGNAULT, N. SiFTO: An Empirical Method for Fitting SN Ia Light Curves. *ApJ*, vol. 681, páginas 482–498, 2008.
- COX, N. L. J., DAVIS, P., PATAT, F. y VAN WINCKEL, H. High-resolution spectroscopy of SN2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5797, página 1, 2014.
- DALCANTON, J. J., WILLIAMS, B. F., SETH, A. C., DOLPHIN, A., HOLTZMAN, J., ROSEMA, K., SKILLMAN, E. D., COLE, A., GIRARDI, L., GOGARTEN, S. M., KARACHENTSEV, I. D., OLSEN, K., WEISZ, D., CHRISTENSEN, C., FREEMAN, K., GILBERT, K., GALLART, C., HARRIS, J., HODGE, P., DE JONG, R. S., KARACHENTSEVA, V., MATEO, M., STETSON, P. B., TAVAREZ, M., ZARITSKY, D., GOVERNATO, F. y QUINN, T. The ACS Nearby Galaxy Survey Treasury. *ApJS*, vol. 183, páginas 67–108, 2009.

- DÁNDREA, C. B., GUPTA, R. R., SAKO, M., MORRIS, M., NICHOL, R. C., BROWN, P. J., CAMPBELL, H., OLMSTEAD, M. D., FRIEMAN, J. A., GARNAVICH, P., JHA, S. W., KESSLER, R., LAMPEITL, H., MARRINER, J., SCHNEIDER, D. P. y SMITH, M. Spectroscopic Properties of Star-forming Host Galaxies and Type Ia Supernova Hubble Residuals in a nearly Unbiased Sample. *ApJ*, vol. 743, página 172, 2011.
- DAWSON, K. S., SCHLEGEL, D. J., AHN, C. P., ANDERSON, S. F., AUBOURG, É., BAILEY, S., BARKHOUSER, R. H., BAUTISTA, J. E., BEIFIORI, A., BERLIND, A. A., BHARDWAJ, V., BIZYAEV, D., BLAKE, C. H., BLANTON, M. R., BLUMQVIST, M., BOLTON, A. S., BORDE, A., BOVY, J., BRANDT, W. N., BREWINGTON, H., BRINKMANN, J., BROWN, P. J., BROWNSTEIN, J. R., BUNDY, K., BUSCA, N. G., CARITHERS, W., CARNERO, A. R., CARR, M. A., CHEN, Y., COMPARAT, J., CONNOLLY, N., COPE, F., CROFT, R. A. C., CUESTA, A. J., DA COSTA, L. N., DAVENPORT, J. R. A., DELUBAC, T., DE PUTTER, R., DHITAL, S., EALET, A., EBELKE, G. L., EISENSTEIN, D. J., ESCOFFIER, S., FAN, X., FILIZ AK, N., FINLEY, H., FONT-RIBERA, A., GÉNOVA-SANTOS, R., GUNN, J. E., GUO, H., HAGGARD, D., HALL, P. B., HAMILTON, J.-C., HARRIS, B., HARRIS, D. W., HO, S., HOGG, D. W., HOLDER, D., HONSCHEID, K., HUEHNERHOFF, J., JORDAN, B., JORDAN, W. P., KAUFFMANN, G., KAZIN, E. A., KIRKBY, D., KLAENE, M. A., KNEIB, J.-P., LE GOFF, J.-M., LEE, K.-G., LONG, D. C., LOOMIS, C. P., LUNDGREN, B., LUPTON, R. H., MAIA, M. A. G., MAKLER, M., MALANUSHENKO, E., MALANUSHENKO, V., MANDELBAUM, R., MANERA, M., MARASTON, C., MARGALA, D., MASTERS, K. L., MCBRIDE, C. K., McDONALD, P., MCGREER, I. D., MCMAHON, R. G., MENA, O., MIRALDA-ESCUDE, J., MONTERO-DORTA, A. D., MONTESANO, F., MUNA, D., MYERS, A. D., NAUGLE, T., NICHOL, R. C., NOTERDAEME, P., NUZA, S. E., OLMSTEAD, M. D., ORAVETZ, A., ORAVETZ, D. J., OWEN, R., PADMANABHAN, N., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PAN, K., PAREJKO, J. K., PÂRIS, I., PERCIVAL, W. J., PÉREZ-FOURNON, I., PÉREZ-RÀFOLS, I., PETITJEAN, P., PFAFFENBERGER, R., PFORR, J., PIERI, M. M., PRADA, F., PRICE-WHELAN, A. M., RADDICK, M. J., REBOLO, R., RICH, J., RICHARDS, G. T., ROKOSI, C. M., ROE, N. A., ROSS, A. J., ROSS, N. P., ROSSI, G., RUBIÑO-MARTIN, J. A., SAMUSHIA, L., SÁNCHEZ, A. G., SAYRES, C., SCHMIDT, S. J., SCHNEIDER, D. P., SCÓCCOLA, C. G., SEO, H.-J., SHELDEN, A., SHELDON, E., SHEN, Y., SHU, Y., SLOSAR, A., SMEE, S. A., SNEDDEN, S. A., STAUFFER, F., STEELE, O., STRAUSS, M. A., STREBLJANSKA, A., SUZUKI, N., SWANSON, M. E. C., TAL, T., TANAKA, M., THOMAS, D., TINKER, J. L., TOJEIRO, R., TREMONTI, C. A., VARGAS MAGAÑA, M., VERDE, L., VIEL, M., WAKE, D. A., WATSON, M., WEAVER, B. A., WEINBERG, D. H., WEINER, B. J., WEST, A. A., WHITE, M., WOOD-VASEY, W. M., YECHE, C., ZEHAVI, I., ZHAO, G.-B. y ZHENG, Z. The Baryon Oscillation Spectroscopic Survey of SDSS-III. *AJ*, vol. 145, página 10, 2013.
- DELUBAC, T., BAUTISTA, J. E., BUSCA, N. G., RICH, J., KIRKBY, D., BAILEY, S., FONT-RIBERA, A., SLOSAR, A., LEE, K.-G., PIERI, M. M., HAMILTON, J.-C., AUBOURG, É., BLUMQVIST, M., BOVY, J., BRINKMANN, J., CARITHERS, W., DAWSON, K. S., EISENSTEIN, D. J., GONTCHO, S. G. A., KNEIB, J.-P., LE GOFF, J.-M., MARGALA, D., MIRALDA-ESCUDE, J., MYERS, A. D., NICHOL, R. C., NOTERDAEME, P., O'CONNELL, R., OLMSTEAD, M. D., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PÂRIS, I., PETITJEAN, P., ROSS, N. P., ROSSI, G., SCHLEGEL, D. J., SCHNEIDER, D. P., WEINBERG, D. H., YECHE, C. y YORK, D. G. Baryon acoustic oscillations in the Ly α forest of BOSS DR11 quasars. *A&A*, vol. 574, página A59, 2015.
- DENICOLÓ, G., TERLEVICH, R. y TERLEVICH, E. New light on the search for low-metallicity galaxies - I. The N2 calibrator. *MNRAS*, vol. 330, páginas 69–74, 2002.
- DENISENKO, D., GORBOVSKOY, E., LIPUNOV, V., BALANUTSA, P., TIURINA, N., KORNILOV, V., SHATSKIY, N., CHAZOV, V., KUZNETSOV, A., RUFANOV, A., VLADIMIROV, V., YECHEISTOV, V., IVANOV, K., YAZEY, S., BUDNEV, N., KONSTANTINOV, E., CHUVALAEV, O., POLESHCHUK, V., GRESS, O., YURKOV, V., SERGIENKO, Y., VARD, D., SINYAKOV, E., GABOVICH, A., PARKHOMENKO, A., TLATOV, A., DORMIDONTOV, D., SENIK, V., KRUSHINSKY, V., ZALOZHNIH, I., POPOV, A., BOURDANOV, A., PODVOROTNY, P., SHUMKOV, V., SHURPAKOV, S., LEVATO, H., SAFFE, C., MALLAMACI, C., LOPEZ, C. y PODEST, F. MASTER-Net Prediscovery and Follow-up Observations of SN 2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5795, página 1, 2014.
- EDMUNDS, M. G. y PAGEL, B. E. J. On the composition of H II regions in southern galaxies. III - NGC 2997 and 7793. *MNRAS*, vol. 211, páginas 507–519, 1984.

- ELIAS-ROSA, N., BENETTI, S., CAPPELLARO, E., TURATTO, M., MAZZALI, P. A., PATAT, F., MEIKLE, W. P. S., STEHLE, M., PASTORELLO, A., PIGNATA, G., KOTAK, R., HARUTYUNYAN, A., ALTAVILLA, G., NAVASARDYAN, H., QIU, Y., SALVO, M. y HILLEBRANDT, W. Anomalous extinction behaviour towards the Type Ia SN 2003cg. *MNRAS*, vol. 369, páginas 1880–1900, 2006.
- ERB, D. K., SHAPLEY, A. E., PETTINI, M., STEIDEL, C. C., REDDY, N. A. y ADELBERGER, K. L. The mass-metallicity relation at $z > 2$. *ApJ*, vol. 644, páginas 813–828, 2006.
- FILIPPENKO, A. V. Optical Spectra of Supernovae. *ARA&A*, vol. 35, páginas 309–355, 1997.
- FITZPATRICK, E. L. Correcting for the Effects of Interstellar Extinction. *PASP*, vol. 111, páginas 63–75, 1999.
- FOLATELLI, G., MORRELL, N., PHILLIPS, M. M., HSIAO, E., CAMPILLAY, A., CONTRERAS, C., CASTELLÓN, S., HAMUY, M., KRZEMINSKI, W., ROTH, M., STRITZINGER, M., BURNS, C. R., FREEDMAN, W. L., MADORE, B. F., MURPHY, D., PERSSON, S. E., PRIETO, J. L., SUNTZEFF, N. B., KRISCIUNAS, K., ANDERSON, J. P., FÖRSTER, F., MAZA, J., PIGNATA, G., ROJAS, P. A., BOLDT, L., SALGADO, F., WYATT, P., OLIVARES E., F., GAL-YAM, A. y SAKO, M. Spectroscopy of Type Ia Supernovae by the Carnegie Supernova Project. *ApJ*, vol. 773, página 53, 2013.
- FOLEY, R. J. HST Observations of SN 2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5811, página 1, 2014.
- FOLEY, R. J., FOX, O. D., MCCULLY, C., PHILLIPS, M. M., SAND, D. J., ZHENG, W., CHALLIS, P., FILIPPENKO, A. V., FOLATELLI, G., HILLEBRANDT, W., HSIAO, E. Y., JHA, S. W., KIRSHNER, R. P., KROMER, M., MARION, G. H., NELSON, M., PAKMOR, R., PIGNATA, G., RÖPKE, F. K., SEITENZAHL, I. R., SILVERMAN, J. M., SKRUTSKIE, M. y STRITZINGER, M. D. Extensive HST ultraviolet spectra and multiwavelength observations of SN 2014J in M82 indicate reddening and circumstellar scattering by typical dust. *MNRAS*, vol. 443, páginas 2887–2906, 2014.
- FORD, C. H., HERBST, W., RICHMOND, M. W., BAKER, M. L., FILIPPENKO, A. V., TREFFERS, R. R., PAK, Y. y BENSON, P. J. CCD photometry of three Type IA supernovae - V, R, and I light curves. *AJ*, vol. 106, páginas 1101–1112, 1993.
- FOSSEY, S. J., COOKE, B., POLLACK, G., WILDE, M. y WRIGHT, T. Supernova 2014J in M82 = Psn J09554214+6940260. *Central Bureau Electronic Telegrams*, vol. 3792, página 1, 2014.
- FRIEMAN, J. A., BASSETT, B., BECKER, A., CHOI, C., CINABRO, D., DEJONGH, F., DEPOY, D. L., DILDAY, B., DOI, M., GARNAVICH, P. M., HOGAN, C. J., HOLTZMAN, J., IM, M., JHA, S., KESSLER, R., KONISHI, K., LAMPEITL, H., MARRINER, J., MARSHALL, J. L., MCGINNIS, D., MIKNAITIS, G., NICHOL, R. C., PRIETO, J. L., RIESS, A. G., RICHMOND, M. W., ROMANI, R., SAKO, M., SCHNEIDER, D. P., SMITH, M., TAKANASHI, N., TOKITA, K., VAN DER HEYDEN, K., YASUDA, N., ZHENG, C., ADELMAN-McCARTHY, J., ANNIS, J., ASSEF, R. J., BARENTINE, J., BENDER, R., BLANDFORD, R. D., BOROSKI, W. N., BREMER, M., BREWINGTON, H., COLLINS, C. A., CROTTS, A., DEMBICKY, J., EASTMAN, J., EDGE, A., EDMONDSON, E., ELSON, E., EYLER, M. E., FILIPPENKO, A. V., FOLEY, R. J., FRANK, S., GOOBAR, A., GUETH, T., GUNN, J. E., HARVANEK, M., HOPP, U., IHARA, Y., IVEZIĆ, Ž., KAHN, S., KAPLAN, J., KENT, S., KETZEBACK, W., KLEINMAN, S. J., KOLLATSHNY, W., KRON, R. G., KRZESIŃSKI, J., LAMENTI, D., LELOUDAS, G., LIN, H., LONG, D. C., LUCEY, J., LUPTON, R. H., MALANUSHENKO, E., MALANUSHENKO, V., McMILLAN, R. J., MENDEZ, J., MORGAN, C. W., MOROKUMA, T., NITTA, A., OSTMAN, L., PAN, K., ROCKOSI, C. M., ROMER, A. K., RUIZ-LAPUENTE, P., SAURAGE, G., SCHLESINGER, K., SNEDDEN, S. A., SOLLERMAN, J., STOUGHTON, C., STRITZINGER, M., SUBBA RAO, M., TUCKER, D., VAISANEN, P., WATSON, L. C., WATTERS, S., WHEELER, J. C., YANNY, B. y YORK, D. The Sloan Digital Sky Survey-II Supernova Survey: Technical Summary. *AJ*, vol. 135, páginas 338–347, 2008.
- GALBANY, L., MIQUEL, R., ÖSTMAN, L., BROWN, P. J., CINABRO, D., DÁNDREA, C. B., FRIEMAN, J., JHA, S. W., MARRINER, J., NICHOL, R. C., NORDIN, J., OLMSTEAD, M. D., SAKO, M., SCHNEIDER, D. P., SMITH, M., SOLLERMAN, J., PAN, K., SNEDDEN, S., BIZYAEV,

- D., BREWINGTON, H., MALANUSHENKO, E., MALANUSHENKO, V., ORAVETZ, D., SIMMONS, A. y SHELDEN, A. Type Ia Supernova Properties as a Function of the Distance to the Host Galaxy in the SDSS-II SN Survey. *ApJ*, vol. 755, página 125, 2012.
- GALBANY, L., STANISHEV, V., MOURÃO, A. M., RODRIGUES, M., FLORES, H., WALCHER, C. J., SÁNCHEZ, S. F., GARCÍA-BENITO, R., MAST, D., BADENES, C., GONZÁLEZ DELGADO, R. M., KEHRIG, C., LYUBENOVA, M., MARINO, R. A., MOLLÁ, M., MEIDT, S., PÉREZ, E., VAN DE VEN, G. y VÍLCHEZ, J. M. Nearby supernova host galaxies from the CALIFA Survey: II. SN environmental metallicity. *ArXiv e-prints*, 2016.
- GALLAGHER, J. S., GARNAVICH, P. M., BERLIND, P., CHALLIS, P., JHA, S. y KIRSHNER, R. P. Chemistry and Star Formation in the Host Galaxies of Type Ia Supernovae. *ApJ*, vol. 634, páginas 210–226, 2005.
- GALLAGHER, J. S., GARNAVICH, P. M., CALDWELL, N., KIRSHNER, R. P., JHA, S. W., LI, W., GANESHALINGAM, M. y FILIPPENKO, A. V. Supernovae in Early-Type Galaxies: Directly Connecting Age and Metallicity with Type Ia Luminosity. *ApJ*, vol. 685, páginas 752–766, 2008.
- GANESHALINGAM, M., LI, W., FILIPPENKO, A. V., ANDERSON, C., FOSTER, G., GATES, E. L., GRIFFITH, C. V., GRIGSBY, B. J., JOUBERT, N., LEJA, J., LOWE, T. B., MACOMBER, B., PRITCHARD, T., THRASHER, P. y WINSLOW, D. Results of the Lick Observatory Supernova Search Follow-up Photometry Program: BVRI Light Curves of 165 Type Ia Supernovae. *ApJS*, vol. 190, páginas 418–448, 2010.
- GAO, J., JIANG, B. W., LI, A., LI, J. y WANG, X. Physical Dust Models for the Extinction toward Supernova 2014J in M82. *ApJL*, vol. 807, página L26, 2015.
- GARAVINI, G., NOBILI, S., TAUBENBERGER, S., PASTORELLO, A., ELIAS-ROSA, N., STANISHEV, V., BLANC, G., BENETTI, S., GOOBAR, A., MAZZALI, P. A., SANCHEZ, S. F., SALVO, M., SCHMIDT, B. P. y HILLEBRANDT, W. ESC observations of SN 2005cf. II. Optical spectroscopy and the high-velocity features. *A&A*, vol. 471, páginas 527–535, 2007.
- GARNETT, D. R. Electron temperature variations and the measurement of nebular abundances. *AJ*, vol. 103, páginas 1330–1337, 1992.
- GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J. I., RUIZ-LAPUENTE, P., TABERNERO, H. M., MONTES, D., CANAL, R., MÉNDEZ, J. y BEDIN, L. R. No surviving evolved companions of the progenitor of SN 1006. *Nature*, vol. 489, páginas 533–536, 2012.
- GOOBAR, A., JOHANSSON, J., AMANULLAH, R., CAO, Y., PERLEY, D. A., KASLIWAL, M. M., FERRETTI, R., NUGENT, P. E., HARRIS, C., GAL-YAM, A., OFEK, E. O., TENDULKAR, S. P., DENNEFELD, M., VALENTI, S., ARCAVI, I., BANERJEE, D. P. K., VENKATARAMAN, V., JOSHI, V., ASHOK, N. M., CENKO, S. B., DIAZ, R. F., FREMLING, C., HORESH, A., HOWELL, D. A., KULKARNI, S. R., PAPADOGIANNAKIS, S., PETRUSHEVSKA, T., SAND, D., SOLLERMAN, J., STANISHEV, V., BLOOM, J. S., SURACE, J., DUPUY, T. J. y LIU, M. C. The Rise of SN 2014J in the Nearby Galaxy M82. *ApJL*, vol. 784, página L12, 2014.
- GOOBAR, A., KROMER, M., SIVERD, R., STASSUN, K. G., PEPPER, J., AMANULLAH, R., KASLIWAL, M., SOLLERMAN, J. y TADDIA, F. Constraints on the Origin of the First Light from SN 2014J. *ApJ*, vol. 799, página 106, 2015.
- GUNN, J. E., CARR, M., ROCKOSI, C., SEKIGUCHI, M., BERRY, K., ELMS, B., DE HAAS, E., IVEZIĆ, Ž., KNAPP, G., LUPTON, R., PAULS, G., SIMCOE, R., HIRSCH, R., SANFORD, D., WANG, S., YORK, D., HARRIS, F., ANNIS, J., BARTOZEK, L., BOROSKI, W., BAKKEN, J., HALDEMAN, M., KENT, S., HOLM, S., HOLMGREN, D., PETRAVICK, D., PROSAPIO, A., RECHENMACHER, R., DOI, M., FUKUGITA, M., SHIMASAKU, K., OKADA, N., HULL, C., SIEGMUND, W., MANNERY, E., BLOUKE, M., HEIDTMAN, D., SCHNEIDER, D., LUCINIO, R. y BRINKMAN, J. The Sloan Digital Sky Survey Photometric Camera. *AJ*, vol. 116, páginas 3040–3081, 1998.
- GUNN, J. E., SIEGMUND, W. A., MANNERY, E. J., OWEN, R. E., HULL, C. L., LEGER, R. F., CAREY, L. N., KNAPP, G. R., YORK, D. G., BOROSKI, W. N., KENT, S. M., LUPTON, R. H., ROCKOSI, C. M., EVANS, M. L., WADDELL, P., ANDERSON, J. E., ANNIS, J., BARENTINE,

- J. C., BARTOSZEK, L. M., BASTIAN, S., BRACKER, S. B., BREWINGTON, H. J., BRIEGEL, C. I., BRINKMANN, J., BROWN, Y. J., CARR, M. A., CZARAPATA, P. C., DRENNAN, C. C., DOMBECK, T., FEDERWITZ, G. R., GILLESPIE, B. A., GONZALES, C., HANSEN, S. U., HARVANEK, M., HAYES, J., JORDAN, W., KINNEY, E., KLAENE, M., KLEINMAN, S. J., KRON, R. G., KRESINSKI, J., LEE, G., LIMMONGKOL, S., LINDENMEYER, C. W., LONG, D. C., LOOMIS, C. L., MCGEHEE, P. M., MANTSCH, P. M., NEILSEN, E. H., JR., NESWOLD, R. M., NEWMAN, P. R., NITTA, A., PEOPLES, J., JR., PIER, J. R., PRIETO, P. S., PROSAPIO, A., RIVETTA, C., SCHNEIDER, D. P., SNEDDEN, S. y WANG, S.-I. The 2.5 m Telescope of the Sloan Digital Sky Survey. *AJ*, vol. 131, páginas 2332–2359, 2006.
- GUPTA, R. R., DÁNDREA, C. B., SAKO, M., CONROY, C., SMITH, M., BASSETT, B., FRIEMAN, J. A., GARNAVICH, P. M., JHA, S. W., KESSLER, R., LAMPEITL, H., MARRINER, J., NICHOL, R. C. y SCHNEIDER, D. P. Improved Constraints on Type Ia Supernova Host Galaxy Properties Using Multi-wavelength Photometry and Their Correlations with Supernova Properties. *ApJ*, vol. 740, página 92, 2011.
- GUY, J., ASTIER, P., BAUMONT, S., HARDIN, D., PAIN, R., REGNAULT, N., BASA, S., CARLBERG, R. G., CONLEY, A., FABBRO, S., FOUCHEZ, D., HOOK, I. M., HOWELL, D. A., PERRETT, K., PRITCHET, C. J., RICH, J., SULLIVAN, M., ANTILOGUS, P., AUBOURG, E., BAZIN, G., BRONDER, J., FILIOL, M., PALANQUE-DELABROUILLE, N., RIPOCHE, P. y RUHLMANN-KLEIDER, V. SALT2: using distant supernovae to improve the use of type Ia supernovae as distance indicators. *A&A*, vol. 466, páginas 11–21, 2007.
- HAMMER, F., FLORES, H., ELBAZ, D., ZHENG, X. Z., LIANG, Y. C. y CESARSKY, C. Did most present-day spirals form during the last 8 Gyr?. A formation history with violent episodes revealed by panchromatic observations. *A&A*, vol. 430, páginas 115–128, 2005.
- HAMUY, M., FOLATELLI, G., MORRELL, N. I., PHILLIPS, M. M., SUNTZEFF, N. B., PERSSON, S. E., ROTH, M., GONZALEZ, S., KRZEMINSKI, W., CONTRERAS, C., FREEDMAN, W. L., MURPHY, D. C., MADORE, B. F., WYATT, P., MAZA, J., FILIPPENKO, A. V., LI, W. y PINTO, P. A. The Carnegie Supernova Project: The Low-Redshift Survey. *PASP*, vol. 118, páginas 2–20, 2006.
- HAMUY, M., PHILLIPS, M. M., SUNTZEFF, N. B., SCHOMMER, R. A., MAZA, J. y AVILES, R. The Absolute Luminosities of the Calán/Tololo Type IA Supernovae. *AJ*, vol. 112, página 2391, 1996a.
- HAMUY, M., PHILLIPS, M. M., SUNTZEFF, N. B., SCHOMMER, R. A., MAZA, J., SMITH, R. C., LIRA, P. y AVILES, R. The Morphology of Type IA Supernovae Light Curves. *AJ*, vol. 112, página 2438, 1996b.
- HATANO, K., BRANCH, D., LENTZ, E. J., BARON, E., FILIPPENKO, A. V. y GARNAVICH, P. M. On the Spectroscopic Diversity of Type IA Supernovae. *ApJL*, vol. 543, páginas L49–L52, 2000.
- HENRY, R. B. C. y WORTHEY, G. The Distribution of Heavy Elements in Spiral and Elliptical Galaxies. *PASP*, vol. 111, páginas 919–945, 1999.
- HERNANDEZ, J. I. G., GENOVA-SANTOS, R., RUBIÑO-MARTIN, J. A. y RUIZ-LAPUENTE, P. Optical photometry and low-resolution spectroscopy of the SN 2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5843, página 1, 2014.
- HICKEN, M., CHALLIS, P., JHA, S., KIRSHNER, R. P., MATHESON, T., MODJAZ, M., REST, A., WOOD-VASEY, W. M., BAKOS, G., BARTON, E. J., BERLIND, P., BRAGG, A., BRICEÑO, C., BROWN, W. R., CALDWELL, N., CALKINS, M., CHO, R., CIUPIK, L., CONTRERAS, M., DENDY, K.-C., DOSAJ, A., DURHAM, N., ERIKSEN, K., ESQUERDO, G., EVERETT, M., FALCO, E., FERNANDEZ, J., GABA, A., GARNAVICH, P., GRAVES, G., GREEN, P., GRONER, T., HERGENROTHER, C., HOLMAN, M. J., HRADECKY, V., HUCHRA, J., HUTCHISON, B., JERIU, D., JORDAN, A., KILGARD, R., KRAUSS, M., LUHMAN, K., MACRI, L., MARRONE, D., MCDOWELL, J., MCINTOSH, D., MCNAMARA, B., MEGEATH, T., MOCHEJSKA, B., MUNOZ, D., MUZEROLLE, J., NARANJO, O., NARAYAN, G., PAHRE, M., PETERS, W., PETERSON, D., RINES, K., RIPMAN, B., ROUSSANOVA, A., SCHILD, R., SICILIA-AGUILAR, A., SOKOLOSKI, J., SMALLEY, K., SMITH, A., SPAHR, T., STANEK, K. Z., BARMBY, P., BLONDIN, S., STUBBS,

- C. W., SZENTGYORGYI, A., TORRES, M. A. P., VAZ, A., VIKHLININ, A., WANG, Z., WESTOVER, M., WOODS, D. y ZHAO, P. CfA3: 185 Type Ia Supernova Light Curves from the CfA. *ApJ*, vol. 700, páginas 331–357, 2009.
- HOEFELICH, P. y KHOKHLOV, A. Explosion Models for Type Ia Supernovae: A Comparison with Observed Light Curves, Distances, H 0, and Q 0. *ApJ*, vol. 457, página 500, 1996.
- HOWELL, D. A., SULLIVAN, M., BROWN, E. F., CONLEY, A., LE BORGNE, D., HSIAO, E. Y., ASTIER, P., BALAM, D., BALLAND, C., BASA, S., CARLBERG, R. G., FOCHEZ, D., GUY, J., HARDIN, D., HOOK, I. M., PAIN, R., PERRETT, K., PRITCHET, C. J., REGNAULT, N., BAUMONT, S., LEDU, J., LIDMAN, C., PERLMUTTER, S., SUZUKI, N., WALKER, E. S. y WHEELER, J. C. The Effect of Progenitor Age and Metallicity on Luminosity and ^{56}Ni Yield in Type Ia Supernovae. *ApJ*, vol. 691, páginas 661–671, 2009.
- HOWELL, D. A., SULLIVAN, M., NUGENT, P. E., ELLIS, R. S., CONLEY, A. J., LE BORGNE, D., CARLBERG, R. G., GUY, J., BALAM, D., BASA, S., FOCHEZ, D., HOOK, I. M., HSIAO, E. Y., NEILL, J. D., PAIN, R., PERRETT, K. M. y PRITCHET, C. J. The type Ia supernova SNLS-03D3bb from a super-Chandrasekhar-mass white dwarf star. *nature*, vol. 443, páginas 308–311, 2006.
- IBEN, I., JR. y TUTUKOV, A. V. Supernovae of type I as end products of the evolution of binaries with components of moderate initial mass (M not greater than about 9 solar masses). *ApJS*, vol. 54, páginas 335–372, 1984.
- ISERN, J., KNOEDLSIEDER, J., JEAN, P., LEBRUN, F., RENAUD, M., BRAVO, E., CHURAZOV, E., GREBENEV, S., SUNYAEV, R., SOLDI, S., DOMINGO, A., KUULKERS, E., HOEFELICH, P., ELIAS-ROSA, N., HARTMANN, D. H., HERNANZ, M., BADENES, C., DOMINGUEZ, I., GARCIA-SENZ, D., JORDI, C., LICHTI, G., VEDRENNE, G. y VON BALLMOOS, P. Early gamma-ray emission from SN2014J during the optical maximum as obtained by INTEGRAL. *The Astronomer's Telegram*, vol. 6099, página 1, 2014.
- JHA, S., KIRSHNER, R. P., CHALLIS, P., GARNAVICH, P. M., MATHESON, T., SODERBERG, A. M., GRAVES, G. J. M., HICKEN, M., ALVES, J. F., ARCE, H. G., BALOG, Z., BARMBY, P., BARTON, E. J., BERLIND, P., BRAGG, A. E., BRICEÑO, C., BROWN, W. R., BUCKLEY, J. H., CALDWELL, N., CALKINS, M. L., CARTER, B. J., CONCANNON, K. D., DONNELLY, R. H., ERIKSEN, K. A., FABRICANT, D. G., FALCO, E. E., FIORE, F., GARCIA, M. R., GÓMEZ, M., GROGIN, N. A., GRONER, T., GROOT, P. J., HAISCH, K. E., JR., HARTMANN, L., HERGENROTHER, C. W., HOLMAN, M. J., HUCHRA, J. P., JAYAWARDHANA, R., JERIUS, D., KANNAPPAN, S. J., KIM, D.-W., KLEYNA, J. T., KOCHANÉK, C. S., KORANYI, D. M., KROCKENBERGER, M., LADA, C. J., LUHMAN, K. L., LUU, J. X., MACRI, L. M., MADER, J. A., MAHDAVI, A., MARENGO, M., MARSDEN, B. G., MCLEOD, B. A., MCNAMARA, B. R., MEGEATH, S. T., MORARU, D., MOSSMAN, A. E., MUENCH, A. A., MUÑOZ, J. A., MUZE-ROLLE, J., NARANJO, O., NELSON-PATEL, K., PAHRE, M. A., PATTEN, B. M., PETERS, J., PETERS, W., RAYMOND, J. C., RINES, K., SCHILD, R. E., SOBCHAK, G. J., SPAHR, T. B., STAUFFER, J. R., STEFANIK, R. P., SZENTGYORGYI, A. H., TOLLESTRUP, E. V., VÄISÄNEN, P., VIKHLININ, A., WANG, Z., WILLNER, S. P., WOLK, S. J., ZAJAC, J. M., ZHAO, P. y STANEK, K. Z. UBVRI Light Curves of 44 Type Ia Supernovae. *AJ*, vol. 131, páginas 527–554, 2006.
- JOHANSSON, J., THOMAS, D., PFORR, J., MARASTON, C., NICHOL, R. C., SMITH, M., LAMPEITL, H., BEIFIORI, A., GUPTA, R. R. y SCHNEIDER, D. P. SN Ia host galaxy properties from Sloan Digital Sky Survey-II spectroscopy. *MNRAS*, vol. 435, páginas 1680–1700, 2013.
- KASEN, D. y WOOSLEY, S. E. On the Origin of the Type Ia Supernova Width-Luminosity Relation. *ApJ*, vol. 656, páginas 661–665, 2007.
- KAUFFMANN, G., HECKMAN, T. M., TREMONTI, C., BRINCHMANN, J., CHARLOT, S., WHITE, S. D. M., RIDGWAY, S. E., BRINKMANN, J., FUKUGITA, M., HALL, P. B., IVEZIĆ, Ž., RICHARDS, G. T. y SCHNEIDER, D. P. The host galaxies of active galactic nuclei. *MNRAS*, vol. 346, páginas 1055–1077, 2003.
- KAWABATA, K. S., AKITAYA, H., YAMANAKA, M., ITOH, R., MAEDA, K., MORITANI, Y., UI, T., KAWABATA, M., MORI, K., NOGAMI, D., NOMOTO, K., SUZUKI, N., TAKAKI, K., TANAKA, M.,

- UENO, I., CHIYONOBU, S., HARAO, T., MATSUI, R., MIYAMOTO, H., NAGAE, O., NAKASHIMA, A., NAKAYA, H., OHASHI, Y., OHSUGI, T., KOMATSU, T., SAKIMOTO, K., SASADA, M., SATO, H., TANAKA, H., URANO, T., YAMASHITA, T., YOSHIDA, M., ARAI, A., EBISUDA, N., FUKAZAWA, Y., FUKUI, A., HASHIMOTO, O., HONDA, S., IZUMIURA, H., KANDA, Y., KAWAGUCHI, K., KAWAI, N., KURODA, D., MASUMOTO, K., MATSUMOTO, K., NAKAOKA, T., TAKATA, K., UEMURA, M. y YANAGISAWA, K. Optical and Near-infrared Polarimetry of Highly Reddened Type Ia Supernova 2014J: Peculiar Properties of Dust in M82. *ApJL*, vol. 795, página L4, 2014.
- KELLY, P. L., FILIPPENKO, A. V., BURKE, D. L., HICKEN, M., GANESHALINGAM, M. y ZHENG, W. Distances with $<4\%$ precision from type Ia supernovae in young star-forming environments. *Science*, vol. 347, páginas 1459–1462, 2015.
- KELLY, P. L., HICKEN, M., BURKE, D. L., MANDEL, K. S. y KIRSHNER, R. P. Hubble Residuals of Nearby Type Ia Supernovae are Correlated with Host Galaxy Masses. *ApJ*, vol. 715, páginas 743–756, 2010.
- KEWLEY, L. J. y DOPITA, M. A. Using Strong Lines to Estimate Abundances in Extragalactic H II Regions and Starburst Galaxies. *ApJS*, vol. 142, páginas 35–52, 2002.
- KEWLEY, L. J., DOPITA, M. A., SUTHERLAND, R. S., HEISLER, C. A. y TREVENA, J. Theoretical Modeling of Starburst Galaxies. *ApJ*, vol. 556, páginas 121–140, 2001.
- KEWLEY, L. J. y ELLISON, S. L. Metallicity Calibrations and the Mass-Metallicity Relation for Star-forming Galaxies. *ApJ*, vol. 681, páginas 1183–1204, 2008.
- KIM, A. G., ALDERING, G., ANTILOGUS, P., ARAGON, C., BAILEY, S., BALTAY, C., BONGARD, S., BUTON, C., CANTO, A., CELLIER-HOLZEM, F., CHILDRESS, M., CHOTARD, N., COPIN, Y., FAKHOURI, H. K., FEINDT, U., FLEURY, M., GANGLER, E., GRESKOVIC, P., GUY, J., KOWALSKI, M., LOMBARDO, S., NORDIN, J., NUGENT, P., PAIN, R., PECONTAL, E., PEREIRA, R., PERLMUTTER, S., RABINOWITZ, D., RIGAULT, M., RUNGE, K., SAUNDERS, C., SCALZO, R., SMADJA, G., TAO, C., THOMAS, R. C. y WEAVER, B. A. Type Ia Supernova Hubble Residuals and Host-galaxy Properties. *ApJ*, vol. 784, página 51, 2014.
- KIM, A. G., LINDER, E. V., MIQUEL, R. y MOSTEK, N. Effects of systematic uncertainties on the supernova determination of cosmological parameters. *MNRAS*, vol. 347, páginas 909–920, 2004.
- KOBULNICKY, H. A. y KEWLEY, L. J. Metallicities of $0.3 < z < 1.0$ Galaxies in the GOODS-North Field. *ApJ*, vol. 617, páginas 240–261, 2004.
- KOTAK, R. Optical spectroscopy of SN2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5816, página 1, 2014.
- KRISCIUNAS, K., HASTINGS, N. C., LOOMIS, K., McMILLAN, R., REST, A., RIESS, A. G. y STUBBS, C. Uniformity of (V-Near-Infrared) Color Evolution of Type Ia Supernovae and Implications for Host Galaxy Extinction Determination. *ApJ*, vol. 539, páginas 658–674, 2000.
- KRISCIUNAS, K., PHILLIPS, M. M., STUBBS, C., REST, A., MIKNAITIS, G., RIESS, A. G., SUNTZEFF, N. B., ROTH, M., PERSSON, S. E. y FREEDMAN, W. L. Optical and Infrared Photometry of the Type Ia Supernovae 1999da, 1999dk, 1999gp, 2000bk, and 2000ce. *AJ*, vol. 122, páginas 1616–1631, 2001.
- KRISCIUNAS, K., PRIETO, J. L., GARNAVICH, P. M., RILEY, J.-L. G., REST, A., STUBBS, C. y McMILLAN, R. Photometry of the Type Ia Supernovae 1999cc, 1999cl, and 2000cf. *AJ*, vol. 131, páginas 1639–1647, 2006.
- KUULKERS, E. INTEGRAL Target of Opportunity observations of the type Ia SN2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5835, página 1, 2014.
- LAMPEITL, H., SMITH, M., NICHOL, R. C., BASSETT, B., CINABRO, D., DILDAY, B., FOLEY, R. J., FRIEMAN, J. A., GARNAVICH, P. M., GOOBAR, A., IM, M., JHA, S. W., MARRINER, J., MIQUEL, R., NORDIN, J., ÖSTMAN, L., RIESS, A. G., SAKO, M., SCHNEIDER, D. P., SOLLERMAN, J. y STRITZINGER, M. The Effect of Host Galaxies on Type Ia Supernovae in the SDSS-II Supernova Survey. *ApJ*, vol. 722, páginas 566–576, 2010.

- LARA-LÓPEZ, M. A., CEPÁ, J., BONGIOVANNI, A., PÉREZ GARCÍA, A. M., CASTAÑEDA, H., FERNÁNDEZ LORENZO, M., POVIĆ, M. y SÁNCHEZ-PORTAL, M. Study of star-forming galaxies in SDSS up to redshift 0.4. I. Metallicity evolution. *A&A*, vol. 505, páginas 529–539, 2009.
- LEONARD, D. C., LI, W., FILIPPENKO, A. V., FOLEY, R. J. y CHORNOCK, R. Evidence for Spectropolarimetric Diversity in Type Ia Supernovae. *ApJ*, vol. 632, páginas 450–475, 2005.
- LI, D., TELESKO, C. y PACKHAM, C. Mid-IR Detection of Supernova SN 2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5903, página 1, 2014a.
- LI, D., TELESKO, C. M., ALVAREZ, C., BARNES, P. J., FERNANDEZ, S., HOFlich, P., MARINAS, N., PACKHAM, C., WRIGHT, C. M. y ZHANG, H. Mid-IR Spectrum of Supernova SN 2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 6018, página 1, 2014b.
- LI, W., CHORNOCK, R., LEAMAN, J., FILIPPENKO, A. V., POZNANSKI, D., WANG, X., GANESHALINGAM, M. y MANNUCCI, F. Nearby supernova rates from the Lick Observatory Supernova Search - III. The rate-size relation, and the rates as a function of galaxy Hubble type and colour. *MNRAS*, vol. 412, páginas 1473–1507, 2011.
- LIANG, Y. C., YIN, S. Y., HAMMER, F., DENG, L. C., FLORES, H. y ZHANG, B. The Oxygen Abundance Calibrations and N/O Abundance Ratios of ~40,000 SDSS Star-forming Galaxies. *ApJ*, vol. 652, páginas 257–269, 2006.
- LIRA, P., SUNTZEFF, N. B., PHILLIPS, M. M., HAMUY, M., MAZA, J., SCHOMMER, R. A., SMITH, R. C., WELLS, L. A., AVILÉS, R., BALDWIN, J. A., ELIAS, J. H., GONZÁLEZ, L., LAYDEN, A., NAVARRETE, M., UGARTE, P., WALKER, A. R., WILLIGER, G. M., BAGANOFF, F. K., CROTTS, A. P. S., RICH, R. M., TYSON, N. D., DEY, A., GUHATHAKURTA, P., HIBBARD, J., KIM, Y.-C., REHNER, D. M., SICILIANO, E., ROTH, J., SEITZER, P. y WILLIAMS, T. B. Optical light curves of the Type IA supernovae SN 1990N and 1991T. *AJ*, vol. 115, página 234, 1998.
- LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. R. y ESTEBAN, C. Massive star formation in Wolf-Rayet galaxies. II. Optical spectroscopy results. *A&A*, vol. 508, páginas 615–640, 2009.
- LÓPEZ-SÁNCHEZ, Á. R. y ESTEBAN, C. Massive star formation in Wolf-Rayet galaxies. IV. Colours, chemical-composition analysis and metallicity-luminosity relations. *A&A*, vol. 517, página A85, 2010.
- LÓPEZ-SÁNCHEZ, Á. R., WESTMEIER, T., ESTEBAN, C. y KORIBALSKI, B. S. Ionized gas in the XUV disc of the NGC 1512/1510 system. *MNRAS*, vol. 450, páginas 3381–3409, 2015.
- MA, B., WEI, P., SHANG, Z., WANG, L. y WANG, X. Prediscovery Observations of SN 2014J in M82 from the Antarctic Survey Telescope. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5794, página 1, 2014.
- MAEDA, K., TAUBENBERGER, S., SOLLERMAN, J., MAZZALI, P. A., LELOUDAS, G., NOMOTO, K. y MOTOHARA, K. Nebular Spectra and Explosion Asymmetry of Type Ia Supernovae. *ApJ*, vol. 708, páginas 1703–1715, 2010.
- MARGUTTI, R., SODERBERG, A., KAMBLE, A., ZAUDERER, A., MILISAVLJEVIC, D., PARRENT, J. y CHOMIUK, L. Chandra X-ray observations of SN2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5851, página 1, 2014.
- MARINO, R. A., ROSALES-ORTEGA, F. F., SÁNCHEZ, S. F., GIL DE PAZ, A., VÍLCHEZ, J., MIRALLES-CABALLERO, D., KEHRIG, C., PÉREZ-MONTERO, E., STANISHEV, V., IGLESIAS-PÁRAMO, J., DÍAZ, A. I., CASTILLO-MORALES, A., KENNICUTT, R., LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. R., GALBANY, L., GARCÍA-BENITO, R., MAST, D., MENDEZ-ABREU, J., MONREAL-IBERO, A., HUSEMANN, B., WALCHER, C. J., GARCÍA-LORENZO, B., MASEGOSA, J., DEL OLMO OROZCO, A., MOURÃO, A. M., ZIEGLER, B., MOLLÁ, M., PAPADEROS, P., SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ, P., GONZÁLEZ DELGADO, R. M., FALCÓN-BARROSO, J., ROTH, M. M., VAN DE VEN, G. y CALIFA TEAM. The O3N2 and N2 abundance indicators revisited: improved calibrations based on CALIFA and T_e -based literature data. *A&A*, vol. 559, página A114, 2013.

- MARION, G. H., SAND, D. J., HSIAO, E. Y., BANERJEE, D. P. K., VALENTI, S., STRITZINGER, M. D., VINKÓ, J., JOSHI, V., VENKATARAMAN, V., ASHOK, N. M., AMANULLAH, R., BINZEL, R. P., BOCHANSKI, J. J., BRYNGELSON, G. L., BURNS, C. R., DROZDOV, D., FIEBER-BEYER, S. K., GRAHAM, M. L., HOWELL, D. A., JOHANSSON, J., KIRSHNER, R. P., MILNE, P. A., PARRENT, J., SILVERMAN, J. M., VERVACK, R. J., JR. y WHEELER, J. C. Early Observations and Analysis of the Type Ia SN 2014J in M82. *ApJ*, vol. 798, página 39, 2015.
- MASSEY, P., STROBEL, K., BARNES, J. V. y ANDERSON, E. Spectrophotometric standards. *ApJ*, vol. 328, páginas 315–333, 1988.
- MATEUS, A., SODRÉ, L., CID FERNANDES, R., STASIŃSKA, G., SCHOENELL, W. y GOMES, J. M. Semi-empirical analysis of Sloan Digital Sky Survey galaxies - II. The bimodality of the galaxy population revisited. *MNRAS*, vol. 370, páginas 721–737, 2006.
- MAZZALI, P. A., NOMOTO, K., CAPPELLARO, E., NAKAMURA, T., UMEDA, H. y IWAMOTO, K. Can Differences in the Nickel Abundance in Chandrasekhar-Mass Models Explain the Relation between the Brightness and Decline Rate of Normal Type Ia Supernovae? *ApJ*, vol. 547, páginas 988–994, 2001.
- MAZZALI, P. A., SULLIVAN, M., HACHINGER, S., ELLIS, R. S., NUGENT, P. E., HOWELL, D. A., GAL-YAM, A., MAGUIRE, K., COOKE, J., THOMAS, R., NOMOTO, K. y WALKER, E. S. Hubble Space Telescope spectra of the Type Ia supernova SN 2011fe: a tail of low-density, high-velocity material with $Z < Z_{SUN}$. *MNRAS*, vol. 439, páginas 1959–1979, 2014.
- MCCALL, M. L., RYBSKI, P. M. y SHIELDS, G. A. The chemistry of galaxies. I - The nature of giant extragalactic H II regions. *ApJS*, vol. 57, páginas 1–62, 1985.
- MCCLELLAND, C. M., GARNAVICH, P. M., GALBANY, L., MIQUEL, R., FOLEY, R. J., FILIPPENKO, A. V., BASSETT, B., WHEELER, J. C., GOOBAR, A., JHA, S. W., SAKO, M., FRIEMAN, J. A., SOLLERMAN, J., VINKO, J. y SCHNEIDER, D. P. The Subluminous Supernova 2007qd: A Missing Link in a Family of Low-luminosity Type Ia Supernovae. *ApJ*, vol. 720, páginas 704–716, 2010.
- MCCLELLAND, C. M., GARNAVICH, P. M., MILNE, P. A., SHAPPEE, B. J. y POGGE, R. W. The Mid-infrared and Optical Decay of SN 2011fe. *ApJ*, vol. 767, página 119, 2013.
- MCCULLY, C., JHA, S. W., FOLEY, R. J., CHORNOCK, R., HOLTZMAN, J. A., BALAM, D. D., BRANCH, D., FILIPPENKO, A. V., FRIEMAN, J., FYNBO, J., GALBANY, L., GANESHALINGAM, M., GARNAVICH, P. M., GRAHAM, M. L., HSIAO, E. Y., LELOUDAS, G., LEONARD, D. C., LI, W., RIESS, A. G., SAKO, M., SCHNEIDER, D. P., SILVERMAN, J. M., SOLLERMAN, J., STEELE, T. N., THOMAS, R. C., WHEELER, J. C. y ZHENG, C. Hubble Space Telescope and Ground-based Observations of the Type Iax Supernovae SN 2005hk and SN 2008A. *ApJ*, vol. 786, página 134, 2014.
- MCGAUGH, S. S. H II region abundances - Model oxygen line ratios. *ApJ*, vol. 380, páginas 140–150, 1991.
- MOLLÁ, M. y DÍAZ, A. I. A grid of chemical evolution models as a tool to interpret spiral and irregular galaxies data. *MNRAS*, vol. 358, páginas 521–543, 2005.
- MORENO-RAYA, M. E., GALBANY, L., LOPEZ-SANCHEZ, A. R., DOMINGUEZ, I., VILCHEZ, J. M., CARNERO, A. y MOLLÁ, M. Broad and narrow band imaging and spectroscopic follow up of SN2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5827, página 1, 2014.
- MORENO-RAYA, M. E., MOLLÁ, M., LÓPEZ-SÁNCHEZ, Á. R., GALBANY, L., VÍLCHEZ, J. M., CARNERO ROSELL, A. y DOMÍNGUEZ, I. On the Dependence of Type Ia SNe Luminosities on the Metallicity of Their Host Galaxies. *ApJL*, vol. 818, página L19, 2016.
- NAGAO, T., MAIOLINO, R. y MARCONI, A. Gas metallicity diagnostics in star-forming galaxies. *A&A*, vol. 459, páginas 85–101, 2006.

- NEILL, J. D., SULLIVAN, M., HOWELL, D. A., CONLEY, A., SEIBERT, M., MARTIN, D. C., BARLOW, T. A., FOSTER, K., FRIEDMAN, P. G., MORRISSEY, P., NEFF, S. G., SCHIMINOVICH, D., WYDER, T. K., BIANCHI, L., DONAS, J., HECKMAN, T. M., LEE, Y.-W., MADORE, B. F., MILLIARD, B., RICH, R. M. y SZALAY, A. S. The Local Hosts of Type Ia Supernovae. *ApJ*, vol. 707, páginas 1449–1465, 2009.
- NOMOTO, K. Accreting white dwarf models for type I supernovae. I - Presupernova evolution and triggering mechanisms. *ApJ*, vol. 253, páginas 798–810, 1982.
- NORDIN, J., ÖSTMAN, L., GOOBAR, A., BALLAND, C., LAMPEITL, H., NICHOL, R. C., SAKO, M., SCHNEIDER, D. P., SMITH, M., SOLLERMAN, J. y WHEELER, J. C. Evidence for a Correlation Between the Si II $\lambda 4000$ Width and Type Ia Supernova Color. *ApJ*, vol. 734, página 42, 2011.
- NUGENT, P., PHILLIPS, M., BARON, E., BRANCH, D. y HAUSCHILDT, P. Evidence for a Spectroscopic Sequence among Type Ia Supernovae. *ApJL*, vol. 455, página L147, 1995.
- O'DONNELL, J. E. R_{nu} -dependent optical and near-ultraviolet extinction. *ApJ*, vol. 422, páginas 158–163, 1994.
- OKE, J. B. y GUNN, J. E. Secondary standard stars for absolute spectrophotometry. *ApJ*, vol. 266, páginas 713–717, 1983.
- OSTERBROCK, D. E. y FERLAND, G. J. *Astrophysics of gaseous nebulae and active galactic nuclei*. 2006.
- PAN, Y.-C., SULLIVAN, M., MAGUIRE, K., HOOK, I. M., NUGENT, P. E., HOWELL, D. A., ARCAVI, I., BOTYANSZKI, J., CENKO, S. B., DEROSE, J., FAKHOURI, H. K., GAL-YAM, A., HSIAO, E., KULKARNI, S. R., LAHER, R. R., LIDMAN, C., NORDIN, J., WALKER, E. S. y XU, D. The host galaxies of Type Ia supernovae discovered by the Palomar Transient Factory. *MNRAS*, vol. 438, páginas 1391–1416, 2014.
- PATAT, F., TAUBENBERGER, S., BAADÉ, D., HOEFLICH, P., MAUND, J., REILLY, E., SPYROMILIO, J., WANG, L., WHEELER, J. C. y ZELAYA, P. Spectropolarimetry of SN2014J in M82: another low $R(V)$ event. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5830, página 1, 2014.
- PEREIRA, R., THOMAS, R. C., ALDERING, G., ANTILOGUS, P., BALTAY, C., BENITEZ-HERRERA, S., BONGARD, S., BUTON, C., CANTO, A., CELLIER-HOLZEM, F., CHEN, J., CHILDRESS, M., CHOTARD, N., COPIN, Y., FAKHOURI, H. K., FINK, M., FOCHEZ, D., GANGLER, E., GUY, J., HILLEBRANDT, W., HSIAO, E. Y., KERSCHHAGGL, M., KOWALSKI, M., KROMER, M., NORDIN, J., NUGENT, P., PAECH, K., PAIN, R., PÉCONTAL, E., PERLMUTTER, S., RABINOWITZ, D., RIGALT, M., RUNGE, K., SAUNDERS, C., SMADJA, G., TAO, C., TAUBENBERGER, S., TILQUIN, A. y WU, C. Spectrophotometric time series of SN 2011fe from the Nearby Supernova Factory. *A&A*, vol. 554, página A27, 2013.
- PÉREZ-MONTERO, E. y CONTINI, T. The impact of the nitrogen-to-oxygen ratio on ionized nebula diagnostics based on [NII] emission lines. *MNRAS*, vol. 398, páginas 949–960, 2009.
- PEREZ-TORRES, M., LUNDQVIST, P., PARAGI, Z., BJORNSSON, C. I., FRANSSON, C., ALBERDI, A., ARGO, M. K., BESWICK, R., GUIRADO, J. C., MARCAIDE, J. M., MARTÍ-VIDAL, I., MUXLOW, T. W. M., ROS, E., RYDER, S. y SCHMIDT, B. EVN measurements show no evidence for radio emission from the Type Ia SN 2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 6153, página 1, 2014.
- PERLMUTTER, S., ALDERING, G., GOLDBABER, G., KNOP, R. A., NUGENT, P., CASTRO, P. G., DEUSTUA, S., FABBRO, S., GOOBAR, A., GROOM, D. E., HOOK, I. M., KIM, A. G., KIM, M. Y., LEE, J. C., NUNES, N. J., PAIN, R., PENNYPACKER, C. R., QUIMBY, R., LIDMAN, C., ELLIS, R. S., IRWIN, M., MCMAHON, R. G., RUIZ-LAPUENTE, P., WALTON, N., SCHAEFER, B., BOYLE, B. J., FILIPPENKO, A. V., MATHESON, T., FRUCHTER, A. S., PANAGIA, N., NEWBERG, H. J. M., COUCH, W. J. y PROJECT, T. S. C. Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae. *ApJ*, vol. 517, páginas 565–586, 1999.

- PERLMUTTER, S. A. y ET AL. Scheduled discovery of 7+ high-redshift SNe: first cosmology results and bounds on q_0 . En *NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C* (editado por P. Ruiz-Lapuente, R. Canal y J. Isern), vol. 486 de *NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C*, página 749, 1997.
- PETTINI, M. y PAGEL, B. E. J. [OIII]/[NII] as an abundance indicator at high redshift. *MNRAS*, vol. 348, páginas L59–L63, 2004.
- PHILLIPS, M. M. The absolute magnitudes of Type IA supernovae. *ApJL*, vol. 413, páginas L105–L108, 1993.
- PHILLIPS, M. M., LI, W., FRIEMAN, J. A., BLINNIKOV, S. I., DEPOY, D., PRIETO, J. L., MILNE, P., CONTRERAS, C., FOLATELLI, G., MORRELL, N., HAMUY, M., SUNTZEFF, N. B., ROTH, M., GONZÁLEZ, S., KRZEMINSKI, W., FILIPPENKO, A. V., FREEDMAN, W. L., CHORNOCK, R., JHA, S., MADORE, B. F., PERSSON, S. E., BURNS, C. R., WYATT, P., MURPHY, D., FOLEY, R. J., GANESHALINGAM, M., SERDUKE, F. J. D., KRISCIUNAS, K., BASSETT, B., BECKER, A., DILDAY, B., EASTMAN, J., GARNAVICH, P. M., HOLTZMAN, J., KESSLER, R., LAMPEITL, H., MARRINER, J., FRANK, S., MARSHALL, J. L., MIKNAITIS, G., SAKO, M., SCHNEIDER, D. P., VAN DER HEYDEN, K. y YASUDA, N. The Peculiar SN 2005hk: Do Some Type Ia Supernovae Explode as Deflagrations?1. *PASP*, vol. 119, páginas 360–387, 2007.
- PHILLIPS, M. M., LIRA, P., SUNTZEFF, N. B., SCHOMMER, R. A., HAMUY, M. y MAZA, J. The Reddening-Free Decline Rate Versus Luminosity Relationship for Type IA Supernovae. *AJ*, vol. 118, páginas 1766–1776, 1999.
- PHILLIPS, M. M., WELLS, L. A., SUNTZEFF, N. B., HAMUY, M., LEIBUNDGUT, B., KIRSHNER, R. P. y FOLTZ, C. B. SN 1991T - Further evidence of the heterogeneous nature of type IA supernovae. *AJ*, vol. 103, páginas 1632–1637, 1992.
- PILYUGIN, L. S. On the oxygen abundance determination in H II regions. The problem of the line intensities - oxygen abundance calibration. *A&A*, vol. 362, páginas 325–332, 2000.
- PILYUGIN, L. S. On the oxygen abundance determination in HII regions. High-metallicity regions. *A&A*, vol. 369, páginas 594–604, 2001.
- PILYUGIN, L. S., MOLLÁ, M., FERRINI, F. y VÍLCHEZ, J. M. Oxygen and nitrogen abundances in Virgo and field spirals. *A&A*, vol. 383, páginas 14–29, 2002.
- PILYUGIN, L. S. y THUAN, T. X. Oxygen Abundance Determination in H II Regions: The Strong Line Intensities-Abundance Calibration Revisited. *ApJ*, vol. 631, páginas 231–243, 2005.
- PODSIADLOWSKI, P., MAZZALI, P. A., LESAFFRE, P., WOLF, C. y FORSTER, F. Cosmological Implications of the Second Parameter of Type Ia Supernovae. *ArXiv Astrophysics e-prints*, 2006.
- POPPE, B., PLAGGENBORG, T., ZHENG, W., SHIVVERS, I., ITAGAKI, K., FILIPPENKO, A. V. y KUNZ, J. Early-Time Flux Measurements of SN 2014J Obtained with Small Robotic Telescopes: Extending the AAVSO Light Curve. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, vol. 43, página 43, 2015.
- RICHARDSON, N., ARTIGAU, E., LAFLAMME, D. y MALENFANT, B. NIR Magnitudes of SN 2014J Obtained Near Maximum Light. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5840, página 1, 2014.
- RICHMOND, M. W. y SMITH, H. A. BVRI Photometry of SN 2011fe in M101. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, vol. 40, página 872, 2012.
- RIESS, A. G., FILIPPENKO, A. V., CHALLIS, P., CLOCCHIATTI, A., DIERCKS, A., GARNAVICH, P. M., GILLILAND, R. L., HOGAN, C. J., JHA, S., KIRSHNER, R. P., LEIBUNDGUT, B., PHILLIPS, M. M., REISS, D., SCHMIDT, B. P., SCHOMMER, R. A., SMITH, R. C., SPYROMILIO, J., STUBBS, C., SUNTZEFF, N. B. y TONRY, J. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *AJ*, vol. 116, páginas 1009–1038, 1998.

- RIESS, A. G., KIRSHNER, R. P., SCHMIDT, B. P., JHA, S., CHALLIS, P., GARNAVICH, P. M., ESIN, A. A., CARPENTER, C., GRASHIUS, R., SCHILD, R. E., BERLIND, P. L., HUCHRA, J. P., PROSSER, C. F., FALCO, E. E., BENSON, P. J., BRICEÑO, C., BROWN, W. R., CALDWELL, N., DELL'ANTONIO, I. P., FILIPPENKO, A. V., GOODMAN, A. A., GROGIN, N. A., GRONER, T., HUGHES, J. P., GREEN, P. J., JANSEN, R. A., KLEYNA, J. T., LUU, J. X., MACRI, L. M., MCLEOD, B. A., MCLEOD, K. K., MCNAMARA, B. R., MCLEAN, B., MILONE, A. A. E., MOHR, J. J., MORARU, D., PENG, C., PETERS, J., PRESTWICH, A. H., STANEK, K. Z., SZENTGYORGYI, A. y ZHAO, P. BVRi Light Curves for 22 Type IA Supernovae. *AJ*, vol. 117, páginas 707–724, 1999.
- RIESS, A. G., LI, W., STETSON, P. B., FILIPPENKO, A. V., JHA, S., KIRSHNER, R. P., CHALLIS, P. M., GARNAVICH, P. M. y CHORNOCK, R. Cepheid Calibrations from the Hubble Space Telescope of the Luminosity of Two Recent Type Ia Supernovae and a Redetermination of the Hubble Constant. *ApJ*, vol. 627, páginas 579–607, 2005.
- RIGAULT, M., ALDERING, G., KOWALSKI, M., COPIN, Y., ANTILOGUS, P., ARAGON, C., BAILEY, S., BALTAY, C., BAUGH, D., BONGARD, S., BOONE, K., BUTON, C., CHEN, J., CHOTARD, N., FAKHOURI, H. K., FEINDT, U., FAGRELIUS, P., FLEURY, M., FOCHEZ, D., GANGLER, E., HAYDEN, B., KIM, A. G., LEGET, P.-F., LOMBARDO, S., NORDIN, J., PAIN, R., PECONTAL, E., PEREIRA, R., PERLMUTTER, S., RABINOWITZ, D., RUNGE, K., RUBIN, D., SAUNDERS, C., SMADJA, G., SOFIATTI, C., SUZUKI, N., TAO, C. y WEAVER, B. A. Confirmation of a Star Formation Bias in Type Ia Supernova Distances and its Effect on the Measurement of the Hubble Constant. *ApJ*, vol. 802, página 20, 2015.
- RIGAULT, M., COPIN, Y., ALDERING, G., ANTILOGUS, P., ARAGON, C., BAILEY, S., BALTAY, C., BONGARD, S., BUTON, C., CANTO, A., CELLIER-HOLZEM, F., CHILDRESS, M., CHOTARD, N., FAKHOURI, H. K., FEINDT, U., FLEURY, M., GANGLER, E., GRESKOVIC, P., GUY, J., KIM, A. G., KOWALSKI, M., LOMBARDO, S., NORDIN, J., NUGENT, P., PAIN, R., PÉCONTAL, E., PEREIRA, R., PERLMUTTER, S., RABINOWITZ, D., RUNGE, K., SAUNDERS, C., SCALZO, R., SMADJA, G., TAO, C., THOMAS, R. C. y WEAVER, B. A. Evidence of environmental dependencies of Type Ia supernovae from the Nearby Supernova Factory indicated by local H α . *A&A*, vol. 560, página A66, 2013.
- RITCHEY, A. M., WELTY, D. E., DAHLSTROM, J. A. y YORK, D. G. Echelle spectra of SN2014J from the Apache Point Observatory 3.5m telescope, UT January 27 and January 30, 2014. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5859, página 1, 2014.
- SAKO, M., BASSETT, B., BECKER, A. C., BROWN, P. J., CAMPBELL, H., CANE, R., CINABRO, D., D'ANDREA, C. B., DAWSON, K. S., DEJONGH, F., DEPOY, D. L., DILDAY, B., DOI, M., FILIPPENKO, A. V., FISCHER, J. A., FOLEY, R. J., FRIEMAN, J. A., GALBANY, L., GARNAVICH, P. M., GOOBAR, A., GUPTA, R. R., HILL, G. J., HAYDEN, B. T., HLOZEK, R., HOLTZMAN, J. A., HOPP, U., JHA, S. W., KESSLER, R., KOLLATSCHNY, W., LELOUDAS, G., MARRINER, J., MARSHALL, J. L., MIQUEL, R., MOROKUMA, T., MOSHER, J., NICHOL, R. C., NORDIN, J., OLMSTEAD, M. D., OSTMAN, L., PRIETO, J. L., RICHMOND, M., ROMANI, R. W., SOLLERMAN, J., STRITZINGER, M., SCHNEIDER, D. P., SMITH, M., WHEELER, J. C., YASUDA, N. y ZHENG, C. The Data Release of the Sloan Digital Sky Survey-II Supernova Survey. *ArXiv e-prints*, 2014.
- SÁNCHEZ, S. F., GALBANY, L., PÉREZ, E., SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ, P., FALCÓN-BARROSO, J., ROSALES-ORTEGA, F. F., SÁNCHEZ-MENGUIANO, L., MARINO, R., KUNCARAYAKTI, H., ANDERSON, J. P., KRUEHLER, T., CANO-DÍAZ, M., BARRERA-BALLESTEROS, J. K. y GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, J. J. Census of H II regions in NGC 6754 derived with MUSE: Constraints on the metal mixing scale. *A&A*, vol. 573, página A105, 2015.
- SÁNCHEZ, S. F., KENNICUTT, R. C., GIL DE PAZ, A., VAN DE VEN, G., VÍLCHEZ, J. M., WISOTZKI, L., WALCHER, C. J., MAST, D., AGUERRI, J. A. L., ALBIOL-PÉREZ, S., ALONSO-HERRERO, A., ALVES, J., BAKOS, J., BARTÁKOVÁ, T., BLAND-HAWTHORN, J., BOSELLI, A., BOMANS, D. J., CASTILLO-MORALES, A., CORTIJO-FERRERO, C., DE LORENZO-CÁCERES, A., DEL OLMO, A., DETTMAR, R.-J., DÍAZ, A., ELLIS, S., FALCÓN-BARROSO, J., FLORES, H., GALLAZZI, A., GARCÍA-LORENZO, B., GONZÁLEZ DELGADO, R., GRUEL, N., HAINES, T., HAO, C., HUSEMANN, B., IGLÉSIAS-PÁRAMO, J., JAHNKE, K., JOHNSON, B., JUNGWIERT, B., KALINOVA, V., KEHRIG, C., KUPKO, D., LÓPEZ-SÁNCHEZ, Á. R., LYUBENOVA, M., MARINO, R. A., MÁRMOL-QUERALTÓ, E., MÁRQUEZ, I., MASEGOSA, J., MEIDT, S., MENDEZ-ABREU,

- J., MONREAL-IBERO, A., MONTIJO, C., MOURÃO, A. M., PALACIOS-NAVARRO, G., PAPADEROS, P., PASQUALI, A., PELETIER, R., PÉREZ, E., PÉREZ, I., QUIRRENBACH, A., RELANO, M., ROSALES-ORTEGA, F. F., ROTH, M. M., RUIZ-LARA, T., SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ, P., SENGUPTA, C., SINGH, R., STANISHEV, V., TRAGER, S. C., VAZDEKIS, A., VIIRONEN, K., WILD, V., ZIBETTI, S. y ZIEGLER, B. CALIFA, the Calar Alto Legacy Integral Field Area survey. I. Survey presentation. *A&A*, vol. 538, página A8, 2012.
- SÁNCHEZ, S. F., ROSALES-ORTEGA, F. F., IGLESIAS-PÁRAMO, J., MOLLÁ, M., BARRERA-BALLESTEROS, J., MARINO, R. A., PÉREZ, E., SÁNCHEZ-BLAZQUEZ, P., GONZÁLEZ DELGADO, R., CID FERNANDES, R., DE LORENZO-CÁCERES, A., MENDEZ-ABREU, J., GALBANY, L., FALCON-BARROSO, J., MIRALLES-CABALLERO, D., HUSEMANN, B., GARCÍA-BENITO, R., MAST, D., WALCHER, C. J., GIL DE PAZ, A., GARCÍA-LORENZO, B., JUNGWIERT, B., VÍLCHEZ, J. M., JÍLKOVÁ, L., LYUBENOVA, M., CORTIJO-FERRERO, C., DÍAZ, A. I., WISOTZKI, L., MÁRQUEZ, I., BLAND-HAWTHORN, J., ELLIS, S., VAN DE VEN, G., JAHNKE, K., PAPADEROS, P., GOMES, J. M., MENDOZA, M. A. y LÓPEZ-SÁNCHEZ, Á. R. A characteristic oxygen abundance gradient in galaxy disks unveiled with CALIFA. *A&A*, vol. 563, página A49, 2014.
- SÁNCHEZ, S. F., ROSALES-ORTEGA, F. F., JUNGWIERT, B., IGLESIAS-PÁRAMO, J., VÍLCHEZ, J. M., MARINO, R. A., WALCHER, C. J., HUSEMANN, B., MAST, D., MONREAL-IBERO, A., CID FERNANDES, R., PÉREZ, E., GONZÁLEZ DELGADO, R., GARCÍA-BENITO, R., GALBANY, L., VAN DE VEN, G., JAHNKE, K., FLORES, H., BLAND-HAWTHORN, J., LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. R., STANISHEV, V., MIRALLES-CABALLERO, D., DÍAZ, A. I., SÁNCHEZ-BLAZQUEZ, P., MOLLÁ, M., GALLAZZI, A., PAPADEROS, P., GOMES, J. M., GRUEL, N., PÉREZ, I., RUIZ-LARA, T., FLORIDO, E., DE LORENZO-CÁCERES, A., MENDEZ-ABREU, J., KEHRIG, C., ROTH, M. M., ZIEGLER, B., ALVES, J., WISOTZKI, L., KUPKO, D., QUIRRENBACH, A., BOMANS, D. y CALIFA COLLABORATION. Mass-metallicity relation explored with CALIFA. I. Is there a dependence on the star-formation rate? *A&A*, vol. 554, página A58, 2013.
- SÁNCHEZ-BLÁZQUEZ, P., ROSALES-ORTEGA, F. F., MÉNDEZ-ABREU, J., PÉREZ, I., SÁNCHEZ, S. F., ZIBETTI, S., AGUERRI, J. A. L., BLAND-HAWTHORN, J., CATALÁN-TORRECILLA, C., CID FERNANDES, R., DE AMORIM, A., DE LORENZO-CÁCERES, A., FALCÓN-BARROSO, J., GALAZZI, A., GARCÍA BENITO, R., GIL DE PAZ, A., GONZÁLEZ DELGADO, R., HUSEMANN, B., IGLESIAS-PÁRAMO, J., JUNGWIERT, B., MARINO, R. A., MÁRQUEZ, I., MAST, D., MENDOZA, M. A., MOLLÁ, M., PAPADEROS, P., RUIZ-LARA, T., VAN DE VEN, G., WALCHER, C. J. y WISOTZKI, L. Stellar population gradients in galaxy discs from the CALIFA survey. The influence of bars. *A&A*, vol. 570, página A6, 2014.
- SCHLAFLY, E. F. y FINKBEINER, D. P. Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD. *ApJ*, vol. 737, página 103, 2011.
- SCHLEGEL, D. J., FINKBEINER, D. P. y DAVIS, M. Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. *ApJ*, vol. 500, páginas 525–553, 1998.
- SHIELDS, G. A., SKILLMAN, E. D. y KENNICUTT, R. C., JR. High chemical abundances in Virgo spiral galaxies? *ApJ*, vol. 371, páginas 82–91, 1991.
- SIVERD, R. J., GOOBAR, A., STASSUN, K. G. y PEPPER, J. Observations of the M82 SN 2014J with the Kilodegree Extremely Little Telescope. *ApJ*, vol. 799, página 105, 2015.
- SKILLMAN, E. D., KENNICUTT, R. C., JR., SHIELDS, G. A. y ZARITSKY, D. Chemical Abundances in Virgo Spiral Galaxies. II. Effects of Cluster Environment. *ApJ*, vol. 462, página 147, 1996.
- SMARTT, S. J., VALENTI, S., FRASER, M., INSERRA, C., YOUNG, D. R., SULLIVAN, M., PASTORELLO, A., BENETTI, S., GAL-YAM, A., KNAPIC, C., MOLINARO, M., SMAREGLIA, R., SMITH, K. W., TAUBENBERGER, S., YARON, O., ANDERSON, J. P., ASHALL, C., BALLAND, C., BALTAY, C., BARBARINO, C., BAUER, F. E., BAUMONT, S., BERSIER, D., BLAGORODNOVA, N., BONGARD, S., BOTTICELLA, M. T., BUFANO, F., BULLA, M., CAPPELLARO, E., CAMPBELL, H., CELLIER-HOLZEM, F., CHEN, T.-W., CHILDRESS, M. J., CLOCCHIATTI, A., CONTRERAS, C., DALLÓRA, M., DANZIGER, J., DE JAEGER, T., DE CIA, A., DELLA VALLE, M., DENNEFELD, M., ELIAS-ROSA, N., ELMAN, N., FEINDT, U., FLEURY, M., GALL,

- E., GONZALEZ-GAITAN, S., GALBANY, L., MORALES GAROFFOLO, A., GREGGIO, L., GUILLOU, L. L., HACHINGER, S., HADJIYSKA, E., HAGE, P. E., HILLEBRANDT, W., HODGKIN, S., HSIAO, E. Y., JAMES, P. A., JERKSTRAND, A., KANGAS, T., KANKARE, E., KOTAK, R., KROMER, M., KUNCARAYAKTI, H., LELOUDAS, G., LUNDQVIST, P., LYMAN, J. D., HOOK, I. M., MAGUIRE, K., MANULIS, I., MARGHEIM, S. J., MATTILA, S., MAUND, J. R., MAZZALI, P. A., MCCRUM, M., MCKINNON, R., MORENO-RAYA, M. E., NICHOLL, M., NUGENT, P., PAIN, R., PIGNATA, G., PHILLIPS, M. M., POLSHAW, J., PUMO, M. L., RABINOWITZ, D., REILLY, E., ROMERO-CañIZALES, C., SCALZO, R., SCHMIDT, B., SCHULZE, S., SIM, S., SOLLERMAN, J., TADDIA, F., TARTAGLIA, L., TERRERAN, G., TOMASELLA, L., TURATTO, M., WALKER, E., WALTON, N. A., WYRZYKOWSKI, L., YUAN, F. y ZAMPIERI, L. PESSTO: survey description and products from the first data release by the Public ESO Spectroscopic Survey of Transient Objects. *A&A*, vol. 579, página A40, 2015.
- SOKOLOVSKY, K. V., VOYTSIK, P. A., ALAKOZ, A. V., ASAKI, Y., BACH, U., FEILER, R., GAWRONSKI, M. P., GIROLETTI, M., KHARINOV, M. A., IPATOV, A. V., KUTKIN, A. M., RAHIMOV, I. A., SCHINZEL, F. K. y WOLAK, P. RadioAstron Space-VLBI observation of SN2014J and the possible AGN in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 6197, página 1, 2014.
- SRIVASTAV, S., NINAN, J. P., ANUPAMA, G. C., SAHU, D. K. y OJHA, D. K. Optical and NIR observations of SN 2014J. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5876, página 1, 2014.
- STASIŃSKA, G. A grid of model HII regions for extragalactic studies. , vol. 83, páginas 501–538, 1990.
- STASIŃSKA, G., MATEUS, A., JR., SODRÉ, L., JR. y SZCZERBA, R. What drives the Balmer extinction sequence in spiral galaxies?. Clues from the Sloan Digital Sky Survey. *A&A*, vol. 420, páginas 475–489, 2004.
- STONE, R. P. S. Spectral energy distributions of standard stars of intermediate brightness. II. *ApJ*, vol. 218, páginas 767–769, 1977.
- STORCHI-BERGMANN, T., CALZETTI, D. y KINNEY, A. L. Ultraviolet to near-infrared spectral distributions of star-forming galaxies: Metallicity and age effects. *ApJ*, vol. 429, páginas 572–581, 1994.
- STOREY, P. J. y HUMMER, D. G. Recombination line intensities for hydrogenic ions-IV. Total recombination coefficients and machine-readable tables for $Z=1$ to 8. *MNRAS*, vol. 272, páginas 41–48, 1995.
- STOUGHTON, C., LUPTON, R. H., BERNARDI, M., BLANTON, M. R., BURLES, S., CASTANDER, F. J., CONNOLLY, A. J., EISENSTEIN, D. J., FRIEMAN, J. A., HENNESSY, G. S., HINDSLEY, R. B., IVEZIĆ, Ž., KENT, S., KUNSZT, P. Z., LEE, B. C., MEIKSIN, A., MUNN, J. A., NEWBERG, H. J., NICHOL, R. C., NICINSKI, T., PIER, J. R., RICHARDS, G. T., RICHMOND, M. W., SCHLEGEL, D. J., SMITH, J. A., STRAUSS, M. A., SUBBARAO, M., SZALAY, A. S., THAKAR, A. R., TUCKER, D. L., VANDEN BERK, D. E., YANNY, B., ADELMAN, J. K., ANDERSON, J. E., JR., ANDERSON, S. F., ANNIS, J., BAHCALL, N. A., BAKKEN, J. A., BARTELMANN, M., BASTIAN, S., BAUER, A., BERMAN, E., BÖHRINGER, H., BOROSKI, W. N., BRACKER, S., BRIEGEL, C., BRIGGS, J. W., BRINKMANN, J., BRUNNER, R., CAREY, L., CARR, M. A., CHEN, B., CHRISTIAN, D., COLESTOCK, P. L., CROCKER, J. H., CSAI, I., CZARAPATA, P. C., DALCANTON, J., DAVIDSEN, A. F., DAVIS, J. E., DEHNEN, W., DODELSON, S., DOI, M., DOMBECK, T., DONAHUE, M., ELLMAN, N., ELMS, B. R., EVANS, M. L., EYER, L., FAN, X., FEDERWITZ, G. R., FRIEDMAN, S., FUKUGITA, M., GAL, R., GILLESPIE, B., GLAZEBROOK, K., GRAY, J., GREBEL, E. K., GREENAWALT, B., GREENE, G., GUNN, J. E., DE HAAS, E., HAIMAN, Z., HALDEMAN, M., HALL, P. B., HAMABE, M., HANSEN, B., HARRIS, F. H., HARRIS, H., HARVANEK, M., HAWLEY, S. L., HAYES, J. J. E., HECKMAN, T. M., HELMI, A., HENDEN, A., HOGAN, C. J., HOGG, D. W., HOLMGREN, D. J., HOLTZMAN, J., HUANG, C.-H., HULL, C., ICHIKAWA, S.-I., ICHIKAWA, T., JOHNSTON, D. E., KAUFFMANN, G., KIM, R. S. J., KIMBALL, T., KINNEY, E., KLAENE, M., KLEINMAN, S. J., KLYPIN, A., KNAPP, G. R., KORIENEK, J., KROLIK, J., KRON, R. G., KRZESIŃSKI, J., LAMB, D. Q., LEGER, R. F., LIMMONGKOL, S., LINDENMEYER, C., LONG, D. C., LOOMIS, C., LOVEDAY, J., MACKINNON, B., MANNERY, E. J., MANTSCH, P. M., MARGON, B., MC-GEHEE, P., MCKAY, T. A., MCLEAN, B., MENOU, K., MERELLI, A., MO, H. J., MONET,

- D. G., NAKAMURA, O., NARAYANAN, V. K., NASH, T., NEILSEN, E. H., JR., NEWMAN, P. R., NITTA, A., ODENKIRCHEN, M., OKADA, N., OKAMURA, S., OSTRICKER, J. P., OWEN, R., PAULS, A. G., PEOPLES, J., PETERSON, R. S., PETRAVICK, D., POPE, A., PORDES, R., POSTMAN, M., PROSAPIO, A., QUINN, T. R., RECHENMACHER, R., RIVETTA, C. H., RIX, H.-W., ROCKOSI, C. M., ROSNER, R., RUTHMANSDORFER, K., SANDFORD, D., SCHNEIDER, D. P., SCRANTON, R., SEKIGUCHI, M., SERGEY, G., SHETH, R., SHIMASAKU, K., SMEE, S., SNEDDEN, S. A., STEBBINS, A., STUBBS, C., SZAPUDI, I., SZKODY, P., SZOKOLY, G. P., TABACHNIK, S., TSIVETANOV, Z., UOMOTO, A., VOGLEY, M. S., VOGES, W., WADDELL, P., WALTERBOS, R., WANG, S.-I., WATANABE, M., WEINBERG, D. H., WHITE, R. L., WHITE, S. D. M., WILHITE, B., WOLFE, D., YASUDA, N., YORK, D. G., ZEHAVI, I. y ZHENG, W. Sloan Digital Sky Survey: Early Data Release. *AJ*, vol. 123, páginas 485–548, 2002.
- STRITZINGER, M. D., PHILLIPS, M. M., BOLDT, L. N., BURNS, C., CAMPILLAY, A., CONTRERAS, C., GONZALEZ, S., FOLATELLI, G., MORRELL, N., KRZEMINSKI, W., ROTH, M., SALGADO, F., DEPOY, D. L., HAMUY, M., FREEDMAN, W. L., MADORE, B. F., MARSHALL, J. L., PERSSON, S. E., RHEAULT, J.-P., SUNTZEFF, N. B., VILLANUEVA, S., LI, W. y FILIPPENKO, A. V. The Carnegie Supernova Project: Second Photometry Data Release of Low-redshift Type Ia Supernovae. *AJ*, vol. 142, página 156, 2011.
- SULLIVAN, M., CONLEY, A., HOWELL, D. A., NEILL, J. D., ASTIER, P., BALLAND, C., BASA, S., CARLBERG, R. G., FOCHEZ, D., GUY, J., HARDIN, D., HOOK, I. M., PAIN, R., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PERRETT, K. M., PRITCHET, C. J., REGNAULT, N., RICH, J., RUHLMANN-KLEIDER, V., BAUMONT, S., HSIAO, E., KRONBORG, T., LIDMAN, C., PERLMUTTER, S. y WALKER, E. S. The dependence of Type Ia Supernovae luminosities on their host galaxies. *MNRAS*, vol. 406, páginas 782–802, 2010.
- SULLIVAN, M., GUY, J., CONLEY, A., REGNAULT, N., ASTIER, P., BALLAND, C., BASA, S., CARLBERG, R. G., FOCHEZ, D., HARDIN, D., HOOK, I. M., HOWELL, D. A., PAIN, R., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PERRETT, K. M., PRITCHET, C. J., RICH, J., RUHLMANN-KLEIDER, V., BALAM, D., BAUMONT, S., ELLIS, R. S., FABBRO, S., FAKHOURI, H. K., FOURMANOIT, N., GONZÁLEZ-GAITÁN, S., GRAHAM, M. L., HUDSON, M. J., HSIAO, E., KRONBORG, T., LIDMAN, C., MOURAO, A. M., NEILL, J. D., PERLMUTTER, S., RIPOCHE, P., SUZUKI, N. y WALKER, E. S. SNLS3: Constraints on Dark Energy Combining the Supernova Legacy Survey Three-year Data with Other Probes. *ApJ*, vol. 737, página 102, 2011.
- SULLIVAN, M., LE BORGNE, D., PRITCHET, C. J., HODSMAN, A., NEILL, J. D., HOWELL, D. A., CARLBERG, R. G., ASTIER, P., AUBOURG, E., BALAM, D., BASA, S., CONLEY, A., FABBRO, S., FOCHEZ, D., GUY, J., HOOK, I., PAIN, R., PALANQUE-DELABROUILLE, N., PERRETT, K., REGNAULT, N., RICH, J., TAILLET, R., BAUMONT, S., BRONDER, J., ELLIS, R. S., FILIOL, M., LUSSET, V., PERLMUTTER, S., RIPOCHE, P. y TAO, C. Rates and Properties of Type Ia Supernovae as a Function of Mass and Star Formation in Their Host Galaxies. *ApJ*, vol. 648, páginas 868–883, 2006.
- SUNTZEFF, N. B., PHILLIPS, M. M., COVARRUBIAS, R., NAVARRETE, M., PÉREZ, J. J., GUERRA, A., ACEVEDO, M. T., DOYLE, L. R., HARRISON, T., KANE, S., LONG, K. S., MAZA, J., MILLER, S., PIATTI, A. E., CLARIÁ, J. J., AHUMADA, A. V., PRITZL, B. y WINKLER, P. F. Optical Light Curve of the Type IA Supernova 1998BU in M96 and the Supernova Calibration of the Hubble Constant. *AJ*, vol. 117, páginas 1175–1184, 1999.
- SUZUKI, N., RUBIN, D., LIDMAN, C., ALDERING, G., AMANULLAH, R., BARBARY, K., BARRIENTOS, L. F., BOTYANSZKI, J., BRODWIN, M., CONNOLLY, N., DAWSON, K. S., DEY, A., DOI, M., DONAHUE, M., DEUSTUA, S., EISENHARDT, P., ELLINGSON, E., FACCIOLI, L., FADEYEV, V., FAKHOURI, H. K., FRUCHTER, A. S., GILBANK, D. G., GLADDERS, M. D., GOLDBABER, G., GONZALEZ, A. H., GOOBAR, A., GUDE, A., HATTORI, T., HOEKSTRA, H., HSIAO, E., HUANG, X., IHARA, Y., JEE, M. J., JOHNSTON, D., KASHIKAWA, N., KOESTER, B., KONISHI, K., KOWALSKI, M., LINDER, E. V., LUBIN, L., MELBOURNE, J., MEYERS, J., MOROKUMA, T., MUNSHI, F., MULLIS, C., ODA, T., PANAGIA, N., PERLMUTTER, S., POSTMAN, M., PRITCHARD, T., RHODES, J., RIPOCHE, P., ROSATI, P., SCHLEGEL, D. J., SPADAFORA, A., STANFORD, S. A., STANISHEV, V., STERN, D., STROVINK, M., TAKANASHI, N., TOKITA, K., WAGNER, M., WANG, L., YASUDA, N., YEE, H. K. C. y SUPERNOVA COSMOLOGY PROJECT, T. The Hubble Space Telescope Cluster Supernova Survey. V. Improving the Dark-energy Constraints above $z > 1$ and Building an Early-type-hosted Supernova Sample. *ApJ*, vol. 746, página 85, 2012.

- TAKAKI, K., ITOH, R., UI, T., KAWABATA, K. S. y YAMANAKA, M. Follow-up Spectroscopy of SN 2014J in M82. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5791, página 1, 2014.
- TAMMANN, G. A. y REINDL, B. The supernova Ia 2011fe in M101, its tip of the red-giant branch (TRGB) distance, and the value of H_0 . *ArXiv e-prints*, 2011.
- TELESKO, C. M., HÖFLICH, P., LI, D., ÁLVAREZ, C., WRIGHT, C. M., BARNES, P. J., FERNÁNDEZ, S., HOUGH, J. H., LEVENSON, N. A., MARIÑAS, N., PACKHAM, C., PANTIN, E., REBOLO, R., ROCHE, P. y ZHANG, H. Mid-IR Spectra of Type Ia SN 2014J in M82 Spanning the First 4 Months. *ApJ*, vol. 798, página 93, 2015.
- TENDULKAR, S. P., LIU, M. C., DUPUY, T. J. y CA, Y. Near-IR Adaptive Optics Localization of PSN J09554214+6940260. *The Astronomer's Telegram*, vol. 5789, página 1, 2014.
- TIMMES, F. X., BROWN, E. F. y TRURAN, J. W. On Variations in the Peak Luminosity of Type Ia Supernovae. *ApJL*, vol. 590, páginas L83–L86, 2003.
- TRAVAGLIO, C., HILLEBRANDT, W. y REINECKE, M. Metallicity effect in multi-dimensional SNIa nucleosynthesis. *A&A*, vol. 443, páginas 1007–1011, 2005.
- TREMONTI, C. A., HECKMAN, T. M., KAUFFMANN, G., BRINCHMANN, J., CHARLOT, S., WHITE, S. D. M., SEIBERT, M., PENG, E. W., SCHLEGEL, D. J., UOMOTO, A., FUKUGITA, M. y BRINKMANN, J. The Origin of the Mass-Metallicity Relation: Insights from 53,000 Star-forming Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey. *ApJ*, vol. 613, páginas 898–913, 2004.
- TSVETKOV, D. Y., METLOV, V. G., SHUGAROV, S. Y., TARASOVA, T. N. y PAVLYUK, N. N. Supernova 2014J at maximum light. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, vol. 44, páginas 67–76, 2014.
- TUTUKOV, A. V. y IUNGELSON, L. R. On the origin and evolutionary stage of symbiotic stars. *Astrofizika*, vol. 12, páginas 521–530, 1976.
- TUTUKOV, A. V. y YUNGELSON, L. R. On the influence of emission of gravitational waves on the evolution of low-mass close binary stars. *Acta Astron.*, vol. 29, páginas 665–680, 1979.
- VACCA, W. D., HAMILTON, R. T., SAVAGE, M., SHENOY, S., BECKLIN, E. E., MCLEAN, I. S., LOGSDON, S. E., MARION, G. H., ASHOK, N. M., BANERJEE, D. P. K., EVANS, A., FOX, O. D., GARNAVICH, P., GEHRZ, R. D., GREENHOUSE, M., HELTON, L. A., KIRSHNER, R. P., SHENOY, D., SMITH, N., SPYROMILIO, J., STARRFIELD, S., WOODEN, D. H. y WOODWARD, C. E. Observations of Type Ia Supernova 2014J with FLITECAM/SOFIA. *ApJ*, vol. 804, página 66, 2015.
- VENKATARAMAN, V., BANERJEE, D. P. K., JOSHI, V., ASHOK, N. M. y BHALERAO, V. Near-infrared observations of the supernova in M82 (PSN_J09554214+6940260). *The Astronomer's Telegram*, vol. 5793, página 1, 2014.
- WANG, X., FILIPPENKO, A. V., GANESHALINGAM, M., LI, W., SILVERMAN, J. M., WANG, L., CHORNOCK, R., FOLEY, R. J., GATES, E. L., MACOMBER, B., SERDUKE, F. J. D., STEELE, T. N. y WONG, D. S. Improved Distances to Type Ia Supernovae with Two Spectroscopic Subclasses. *ApJL*, vol. 699, páginas L139–L143, 2009.
- WEBBINK, R. F. Double white dwarfs as progenitors of R Coronae Borealis stars and Type I supernovae. *ApJ*, vol. 277, páginas 355–360, 1984.
- WHEELER, J. C. y HARKNESS, R. P. Type I supernovae. *Reports on Progress in Physics*, vol. 53, páginas 1467–1557, 1990.
- WHELAN, J. y IBEN, I., JR. Binaries and Supernovae of Type I. *ApJ*, vol. 186, páginas 1007–1014, 1973.
- WOLF, R. C., D'ANDREA, C. B., GUPTA, R. R., SAKO, M., FISCHER, J. A., KESSLER, R., JHA, S. W., MARCH, M. C., SCOLNIC, D. M., FISCHER, J.-L., CAMPBELL, H., NICHOL, R. C., OLMSTEAD, M. D., RICHMOND, M., SCHNEIDER, D. P. y SMITH, M. SDSS-II Supernova Survey: An Analysis of the Largest Sample of Type Ia Supernovae and Correlations with Host-galaxy Spectral Properties. *ApJ*, vol. 821, página 115, 2016.

- WOOD-VASEY, W. M., MIKNAITIS, G., STUBBS, C. W., JHA, S., RIESS, A. G., GARNAVICH, P. M., KIRSHNER, R. P., AGUILERA, C., BECKER, A. C., BLACKMAN, J. W., BLONDIN, S., CHALLIS, P., CLOCCHIATTI, A., CONLEY, A., COVARRUBIAS, R., DAVIS, T. M., FILIPPENKO, A. V., FOLEY, R. J., GARG, A., HICKEN, M., KRISCIUNAS, K., LEIBUNDGUT, B., LI, W., MATHESON, T., MICELI, A., NARAYAN, G., PIGNATA, G., PRIETO, J. L., REST, A., SALVO, M. E., SCHMIDT, B. P., SMITH, R. C., SOLLERMAN, J., SPYROMILIO, J., TONRY, J. L., SUNTZEFF, N. B. y ZENTENO, A. Observational Constraints on the Nature of Dark Energy: First Cosmological Results from the ESSENCE Supernova Survey. *ApJ*, vol. 666, páginas 694–715, 2007.
- YARON, O. y GAL-YAM, A. WISEREP - An Interactive Supernova Data Repository. *PASP*, vol. 124, páginas 668–681, 2012.
- YORK, D. G., ADELMAN, J., ANDERSON, J. E., JR., ANDERSON, S. F., ANNIS, J., BAHCALL, N. A., BAKKEN, J. A., BARKHOUSER, R., BASTIAN, S., BERMAN, E., BOROSKI, W. N., BRACKER, S., BRIEGEL, C., BRIGGS, J. W., BRINKMANN, J., BRUNNER, R., BURLES, S., CAREY, L., CARR, M. A., CASTANDER, F. J., CHEN, B., COLESTOCK, P. L., CONNOLLY, A. J., CROCKER, J. H., CSABAI, I., CZARAPATA, P. C., DAVIS, J. E., DOI, M., DOMBECK, T., EISENSTEIN, D., ELLMAN, N., ELMS, B. R., EVANS, M. L., FAN, X., FEDERWITZ, G. R., FISCELLI, L., FRIEDMAN, S., FRIEMAN, J. A., FUKUGITA, M., GILLESPIE, B., GUNN, J. E., GURBANI, V. K., DE HAAS, E., HALDEMAN, M., HARRIS, F. H., HAYES, J., HECKMAN, T. M., HENNESSY, G. S., HINDSLEY, R. B., HOLM, S., HOLMGREN, D. J., HUANG, C.-H., HULL, C., HUSBY, D., ICHIKAWA, S.-I., ICHIKAWA, T., IVEZIĆ, Ž., KENT, S., KIM, R. S. J., KINNEY, E., KLAENE, M., KLEINMAN, A. N., KLEINMAN, S., KNAPP, G. R., KORIENEK, J., KRON, R. G., KUNSZT, P. Z., LAMB, D. Q., LEE, B., LEGER, R. F., LIMMONGKOL, S., LINDENMEYER, C., LONG, D. C., LOOMIS, C., LOVEDAY, J., LUCINIO, R., LUPTON, R. H., MACKINNON, B., MANNERY, E. J., MANTSCH, P. M., MARGON, B., MCGEHEE, P., MCKAY, T. A., MEIKSIN, A., MERELLI, A., MONET, D. G., MUNN, J. A., NARAYANAN, V. K., NASH, T., NEILSEN, E., NESWOLD, R., NEWBERG, H. J., NICHOL, R. C., NICINSKI, T., NONINO, M., OKADA, N., OKAMURA, S., OSTRIKER, J. P., OWEN, R., PAULS, A. G., PEOPLES, J., PETERSON, R. L., PETRAVICK, D., PIER, J. R., POPE, A., PORDES, R., PROSAPIO, A., RECHENMACHER, R., QUINN, T. R., RICHARDS, G. T., RICHMOND, M. W., RIVETTA, C. H., ROCKOSI, C. M., RUTHMANSDORFER, K., SANDFORD, D., SCHLEGEL, D. J., SCHNEIDER, D. P., SEKIGUCHI, M., SERGEY, G., SHIMASAKU, K., SIEGMUND, W. A., SMEE, S., SMITH, J. A., SNEDDEN, S., STONE, R., STOUGHTON, C., STRAUSS, M. A., STUBBS, C., SUBBARAO, M., SZALAY, A. S., SZAPUDI, I., SZOKOLY, G. P., THAKAR, A. R., TREMONTI, C., TUCKER, D. L., UOMOTO, A., VANDEN BERK, D., VOGEELEY, M. S., WADDELL, P., WANG, S.-I., WATANABE, M., WEINBERG, D. H., YANNY, B., YASUDA, N. y SDSS COLLABORATION. The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary. *AJ*, vol. 120, páginas 1579–1587, 2000.
- ZHENG, W., SHIVVERS, I., FILIPPENKO, A. V., ITAGAKI, K., CLUBB, K. I., FOX, O. D., GRAHAM, M. L., KELLY, P. L. y MAUERHAN, J. C. Estimating the First-light Time of the Type Ia Supernova 2014J in M82. *ApJL*, vol. 783, página L24, 2014.

